Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke
Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe: II H
B Nr. 158

BHS II H 158

DIE

ELEKTRICITÄT

UND

IHRE ANWENDUNGEN

ZUR

BELEUCHTUNG, KRAFTÜBERTRAGUNG, METALLURGIE, TELEPHONIE UND TELEGRAPHIE.

FÜR WEITERE KREISE DARGESTELLT

VON

DR. L. GRAETZ,
PRIVATDOCENT AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

BIBLIOTHEK DER K. B. GENERAL BERGW. u. SALINEN ADMINISTR.

MIT 365 ABBILDUNGEN.

ZWEITE VERMEHRTE UND VERBESSERTE AUFLAGE.

STUTTGART.
VERLAG VON J. ENGELHORN.
1885.

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Gebrüder Kröner in Stuttgart.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorwort zur ersten Auflage.

Mehr als irgend ein anderer Zweig der Physik nimmt gegenwärtig die Elektricität das Interesse und die Aufmerksamkeit weiter Kreise in Anspruch. Die täglich neu auftretenden Projekte zu elektrischen Installationen, die rasch auf einander folgenden elektrischen Ausstellungen wenden sich über den beschränkten Kreis der Physiker und Techniker hinaus an das allgemeine Publikum, um dieses zur werkthätigen Theilnahme an der ausgedehnteren Einführung dieser gewaltigen Naturkraft ins Leben zu enthusiasmiren. Es macht sich in Folge dessen in weitem Umfange das Bedürfniss geltend, über die Gesetze der Elektricität und über die Ausdehnung ihrer Anwendbarkeit und ihrer Anwendungen gründliche und sichere Kenntnisse zu erlangen. Diesem Bedürfniss sucht das vorliegende Buch abzuhelfen, indem es eine Entwickelung der Gesetze der Elektricität und eine Darstellung ihrer Anwendungen giebt, in solcher Form, dass jeder Gebildete daraus Informationen schöpfen kann. Es wurde insbesondere die Anwendung der Mathematik, welche diesem allgemeinen Zwecke hinderlich ist, vermieden. Trotzdem wurden doch alle die wesentlichen Begriffe der Elektricitätslehre, welche gewöhnlich nur mathematisch behandelt werden, insbesondere das Potential, ferner das absolute Masssystem und die Methoden zur Messung elektrischer Grössen eingeführt und erklärt. Der erste Abschnitt behandelt die Erscheinungen und Gesetze der Elektricität in zusammenhängender Darstellung, wobei das Thatsächliche und Gesetzmässige betont, sicher gestellte Theorieen benutzt, bestrittene Hypothesen kaum erwähnt werden. Auf die Anwendungen der einzelnen Erscheinungen und Gesetze wird in diesem Theil nur hingedeutet. Der zweite Theil behandelt diese Anwendungen specieller und zwar in ziemlich weitem Umfange. Das

Hauptgewicht wurde dabei auf die neuere Elektrotechnik, die Benutzung der Elektricität zur Beleuchtung, Kraftübertragung und Telephonie gelegt, weil die älteren Anwendungen, insbesondere die Telegraphie, in solcher Ausdehnung sich entwickelt haben, dass eine eingehendere Darstellung den Rahmen dieses Werkes überschritten hätte. Doch sind auch hierin die wesentlichsten Einrichtungen bis zur neuesten Zeit berücksichtigt worden. Bei der grossen Zahl von Construktionen, welche auf allen Gebieten der Elektrotechnik hervortreten, war natürlich eine Auswahl geboten. Es wurde immer der Grundsatz festgehalten, die principiell wichtigen oder interessanten Einrichtungen zu erörtern und im Uebrigen noch diejenigen Construktionen zu erläutern, die bereits eine ausgedehnte Anwendung erfahren haben. Dadurch dürfte das Buch die Vollständigkeit haben, welche seinem Hauptzwecke entspricht, zur Information für ein weiteres Publikum zu dienen; doch dürfte es sich auch durch seinen Umfang und durch die Art der Darstellung als Grundlage und Leitfaden für weitergehende Studien nützlich erweisen.

München im Mai 1883.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die freundliche Aufnahme dieses Buches von Seiten des Publikums und der Kritik zeigte mir, dass die Vereinigung von physikalischen Lehren und technischen Anwendungen, wie sie hierin durchgeführt ist, einem Bedürfniss entspricht. Die neue Auflage bringt daher hauptsächlich nur Erweiterungen und an manchen Stellen bessere und systematischere Darstellung, keine principielle Umänderung. Dass die physikalischen Lehren ohne Anwendung von Mathematik vorgetragen werden, hat fast allerseits Anklang und in ähnlichen Werken Nachahmung gefunden. Trotzdem schien mir für manche Leser eine etwas mehr mathematische Behandlung an einigen Stellen vortheilhaft, insbesondere in dem Kapitel 3, welches von den Gesetzen des galvanischen Stromes und den Methoden zur Messung galvanischer Ströme handelt. Ich habe es am rathsamsten gefunden, die Darstellung selbst ebensowenig wie früher durch mathematische Formeln zu stören, sondern die wichtigsten Formeln, die der Leser bedarf, als Zusatz zu diesem Kapitel zusammenzustellen. Der nicht mathematische Leser kann über diese Zusätze ohne Weiteres hinweggehen, dem mathematisch Gebildeten dürften die Formeln, wenn auch blos zur augenblicklichen Erinnerung, willkommen sein. Dasselbe gilt von dem neu hinzugefügten Kapitel 9 des ersten Abschnittes „Das absolute Masssystem“, welches nothwendig einige elementare mathematische Zeichen erfordert. Im Uebrigen wurde in dem ersten Abschnitt eine ausführlichere Darstellung der Galvanometer und Elektrodynamometer hinzugefügt und genauer auf die Messmethoden galvanischer Grössen eingegangen. Von sehr geschätzter Seite wurde in einer Kritik die Einführung des Begriffes „Potential“ für unzweckmässig und überflüssig erklärt. Meines Erachtens mit Unrecht. Thatsächlich sind doch bei der Elektricität die beiden Begriffe „Menge“

und „Potential“ zu unterscheiden, und wenn man die Einführung des Potentials umgehen will, so kommt man bei der Entwickelung überall zu Schwierigkeiten und Schiefheiten der Darstellung. Es ist ja wahr, dass der Begriff des Potentials ein abstrakter, durchaus nicht anschaulicher ist. Aber sind denn die anderen Begriffe der Elektricitätslehre anschaulich? Soweit man ihnen anschauliche Namen gegeben hat, rufen diese sogar eher falsche oder wenigstens unbegründete Vorstellungen hervor.

In dem zweiten Abschnitt wurden Ergänzungen hinzugefügt, welche sich auf neuere Construktionen beziehen, so dass das Wesentlichste an Erfindungen bis zur Mitte des Jahres 1884 darin enthalten ist. Da die elektrotechnische Sturmfluth sich allmählich zu verlaufen beginnt, so wird bald auch das Uebermass an leichter Waare weggespült sein und nur das Gute und Solide bestehen bleiben. In diesem Werke findet man nur dasjenige, was sich als gut bewährt hat.

In dem Inhaltsverzeichniss sind die in der zweiten Auflage neu hinzugekommenen Theile durch ein Sternchen (*) bezeichnet.

München im August 1884.

Dr. L. Graetz.

Inhaltsverzeichniss.

Seite

Einleitung . XI—XIV

I. Abschnitt.

Die Erscheinungsweisen und Wirkungen der Elektricität. S. 1—208.

1. Kapitel. **Die Reibungselektricität** 1—34

Grunderscheinungen, Anziehung und Abstossung. Positive und negative Elektricität. Isolatoren und Leiter. Elektroskop. Elektricitätsmenge. Coulomb'sches Gesetz. Einheit der Elektricitätsmenge. Elektrisirmaschine. Arbeit der elektrischen Kräfte. Potential. Gleichgewicht der Elektricität. Vertheilung der Elektricität auf einem Leiter. *Capacität. Dichtigkeit. Spitzen. Influenz. Aenderung der Capacität durch Influenz. Condensator. Dielektrica. Leydener Flasche. Spitzenwirkung. Influenzmaschine. Entladungswirkungen. Quadrantelektrometer. Elektrische Energie. Einheit des Potentials und der *Capacität.

2. Kapitel. **Elektricität durch Berührung. Der galvanische Strom** 35—50

Volta'scher Fundamentalversuch. Potentialdifferenz. Spannungsreihe. Leiter erster und zweiter Klasse. Galvanische Elemente. Elemente von Daniell, *Meidinger, Bunsen, Leclanché. *Gaselemente. Elektrischer Strom.

3. Kapitel. **Die Gesetze des galvanischen Stromes** 51—96

Stromstärke. Elektromotorische Kraft. Widerstand. Ohm'sches Gesetz. Hintereinander- und Nebeneinanderschaltung von Elementen, Leitern. Stromverzweigung. Brückenverzweigung. *Stromverzweigung zwischen zwei Elementen. *Kirchhoff'sche Gesetze. Galvanoskope. Specifischer Widerstand. Rheostaten. Messung des Widerstandes von Drähten. Substitutionsmethode. Wheatstone'sche Brücke. * Einrichtung derselben beim Universalwiderstandskasten und Universalgalvanoskop. *Messung des inneren Widerstandes von Elementen durch Stromverzweigung. *Messung der elektromotorischen Kraft. *Compensationsmethode. Einheiten. Apparate. — *Mathematische Zusätze.

4. Kapitel. **Die Wärme und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes. Thermoelektricität** 97—113

Erwärmung durch den Strom. Joule'sches Gesetz. Glühen von Drähten. Arbeitsleistung des Stromes.

Seite

Elektrischer Effekt. Peltier'sche Wirkung. Thermoströme. Thermoelektrische Spannungsreihe. Thermosäulen. Anwendung derselben. Elektrischer Funken. Davy'scher Lichtbogen. Elektromotorische Gegenkraft im Lichtbogen.

5. Kapitel. **Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes. Elektrolyse. Polarisationsströme** 114—132

Elektrolyse. Sekundäre Processe. Grotthus'sche Theorie. Clausius'sche Theorie. Elektrolyse des Wassers. Anderer Substanzen. Faraday'sches Gesetz. Voltameter. Messung der Stromstärke. Knallgasvoltameter. Kupfer- und Silbervoltameter. Contakttheorie. Chemische Theorie. Polarisation. Polarisationsstrom. *Vermeidung der Polarisation durch Wechselströme. *Kohlrausch's Methode zur Messung des Widerstandes von Flüssigkeiten.

6. Kapitel. **Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes** 133—160

Magnetische Kräfte. Magnetische Induktion. Permanente und temporäre Magnete. Elektromagnete. Coercitivkraft. Wärmeentwickelung beim Magnetisiren. Ablenkung von Magneten durch den Strom. *Kraft zwischen Magneten und Strömen. *Biot-Savart'sches Gesetz. *Elektromagnetische Einheit der Stromstärke. Solenoide. Wirkung derselben. Rotation von Magneten um Ströme. Drehbare Stromkreise. Wirkung des Erdmagnetismus. Rotation von Strömen um Magnete. Ablenkung des Flammenbogens durch Magnete. Apparate zur Strommessung. Tangentenbussole. *Sinusbussole. *Benutzung des Universalgalvanoskops als Sinusbussole. Multiplikatoren. *Spiegelgalvanometer von Wiedemann. *Glockenmagnet. *Dämpfung. *Astasirung. *Spiegelgalvanometer von Siemens. *Galvanometer in Zweigleitung zur Messung von Potentialdifferenzen. *Torsionsgalvanometer. Galvanometer für starke Ströme von Deprez, *Ayrton und Perry, *Edelmann. *Messung der Capacität mittelst des Galvanometers.

7. Kapitel. **Die Einwirkung galvanischer Ströme auf einander (Elektrodynamik). Die magnetischen Molekularströme** . . 161—174

Untersuchungen von Ampère. Parallele Ströme. Astatischer Stromkreis. Gekreuzte Ströme. Abstossung der Theile eines Stromes. Rotation von Strömen. Ampère-sches Gesetz. Elektrodynamometer. Siemens'sches Elektrodynamometer *für schwache Ströme, für starke Ströme. Zusammenhang zwischen Magnetismus und Elektricität. Theorie der magnetischen Molekularströme. Erklärung der magnetischen Erscheinungen durch die Molekularströme. Umkehrung der elektromagnetischen und elektrodynamischen Erscheinungen.

8. Kapitel. **Induktion** . 175—195

Faraday's Untersuchungen. Induktion durch Oeffnen und Schliessen des primären Stromes. Neef'scher Hammer. Induktion durch Annäherung und Entfernung des primären Stromes. Magnetinduktion. Lenz'sches Gesetz. Wechselströme. Magnetelektrische Maschinen von Stöhrer. Commutator derselben. Telephon. Arago'sche Scheibe. Foucault'sche Ströme. Dämpfung. Induktionsapparate. Extrastrom. Elektromotorische Kraft der inducirten Ströme. Spannungserscheinungen. Geissler'sche Röhren.

Seite

9. Kapitel. *Das absolute Masssystem 196–208
Zurückführbarkeit aller Messungen auf Messung von Längen, Zeiten und Massen. Grundeinheiten. Wissenschaftliches (C.G.S.) System, praktisches (H.U.S.) System. Dimensionen. Mechanische Grössen. Einheit des Magnetismus. Elektromagnetisches Masssystem. Elektrostatisches Masssystem. Verhältniss der Einheiten in beiden Systemen. Experimentelle Bestimmung des Ampère und Ohm. Legale Widerstandseinheit.

II. Abschnitt.

Die Anwendungen der Elektricität. S. 211—413.

1. Kapitel. Die Dynamomaschinen 211–268
Verschiedene Arten der Stromerzeugung. Magnetoinduktion. Magnetelektrische Maschinen. Maschine von Stöhrer. Alliancemaschine. Siemens-Induktor. Maschine von Siemens. Maschine von de Méritens. Maschine von Wilde. Neuere Wechselstrommaschinen von Lontin, *Gramme, Siemens, *Ferranti. Gramme'scher Ring. Das Dynamoprincip. Gramme'sche Maschine. Allgemeine Eigenschaften der magnetelektrischen und Dynamomaschinen. *Drei verschiedene Schaltungsweisen der Magnete. Trommelinduktor von Hefner. Maschine von Siemens. Maschine von Brush. Abkömmlinge der Gramme'schen Maschine: Maschinen von Fein, *Jürgensen, Schuckert, Bürgin, Gülcher. Abkömmlinge der Siemens'schen Maschine: Maschinen von Edison, Weston. Allgemeine Verhältnisse der Dynamomaschinen. Versuche von Fröhlich. Elektromotorische Kraft, Stromstärke, elektrischer Effekt. *Klemmspannung. *Abhängigkeit der Klemmspannung vom äusseren Widerstand bei Hintereinanderschaltung, Nebenschaltung und Compoundschaltung. *Absolutes Güteverhältniss. *Umwandlungsverhältniss. Vergleich der Dynamomaschinen mit galvanischen Elementen.

2. Kapitel. Die Akkumulatoren 269—282
Polarisationsströme. Sekundäre Elemente. Elektromotorische Kraft derselben. Planté'sches Element. Capacität der Elemente. Planté'sche Batterie. Vorbereitung des Planté-Elementes. Chemie desselben. Faure'sches Element. Aufgespeicherte Arbeit in Faure'schen Elementen. *Nutzeffekt der Akkumulatoren. Akkumulatoren von Kabath, Schulze, Böttcher. Anwendung der Akkumulatoren zur Lichterzeugung und Arbeitsleistung.

3. Kapitel. Das elektrische Bogenlicht 283—318
Entstehung des Bogenlichts. Aussehen des Flammenbogens. Benutzung von gleichgerichteten oder Wechselströmen. Verschiedenheit des Verhaltens derselben. Lichtstärke. Photometrie. Abhängigkeit der Lichtstärke von der Tourenzahl der Maschine und von der Bogenlänge. Elektrische Regulirung des Kohlenabstandes. Elektrische Lampen. Mechanische Einrichtung der Lampen von *Hefner-Alteneck, Bürgin, Brush, *Sedlaczek. Anwendung des Solenoids. Lampe von Jaspar. *Magnetische Klemmung. *Nebenlampe von Siemens. Theilung des Lichts. Jablochkoff'sche Kerzen. Jamin'sche Kerzen. *Lampe soleil. Andere Methoden zur Theilung

Seite

des Lichts. Regulirung im Nebenschluss. Differentialregulirung. Differentiallampe von Hefner. Differentialregulirung der Lampe von Brush. Krizik'sche Stäbe. Krizik'sche Lampe. Lampe von Gülcher. Theilung durch Nebenschaltung. Beleuchtungsanlagen. Vorzüge des Bogenlichts. .

4. Kapitel. **Das elektrische Glühlicht** 319—334

Joule'sches Gesetz. Anwendung der Kohle zum Glühen. Evakuation der Glasgefässe. Edison'sche Lampen. Lampen von Swan, Lane Fox, Maxim, Müller. Anordnung der Edison'schen Lampen im Stromkreis. Stromstärke, elektromotorische Kraft und Widerstand. Einrichtung der Maschine. Veränderung der Lichtstärke jeder Lampe und der ganzen Beleuchtungsanlage. Centralstationen. Einrichtung derselben. Messung der Lichtstärke und Stromstärke. Einrichtung der Leitungen. Bleieinschaltung. Messen der verbrauchten Elektricität. *Anwendung der Compoundmaschinen. *Bostonlampen.

5. Kapitel. **Die elektrische Kraftübertragung** 335—354

Doppelte Verwendung der Dynamomaschinen. Uebertragung von Arbeit durch Dynamomaschinen. Anwendbarkeit der Kraftübertragung. Specielle Vorgänge bei der Kraftübertragung. Maximum der übertragenen Arbeit. Maximum der Uebertragungsfähigkeit. Versuche von Fröhlich. Foucault-sche Ströme. Kraftübertragung auf grosse Entfernungen. Vergrösserung der elektromotorischen Kraft. *Versuche von Deprez. Elektrische Eisenbahnen. Elektrische Postbahnen. Elektrischer Aufzug. *Telpherage. Vertheilung der Kraft. *Compoundmaschinen. Deprez'sches Vertheilungssystem.

6. Kapitel. **Die Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung** 355—365

Aufgaben der Galvanoplastik. Einrichtung der Bäder. Versilberung. Verkupferung. Vergoldung. Grüne und rothe Vergoldung. Vernickelung. Anwendung der Dynamomaschinen. Schaltung der Magnete. Metallisiren. Herstellung von Clichés. *Heliogravure. Graviren der Metalle. Reinmetallgewinnung.

7. Kapitel. **Telephon und Mikrophon** 366—389

Princip des Telephons. Specielle Art der Kraftübertragung. Telephon von Bell. Tonhöhe, Tonstärke, Klangfarbe. Telephon von Siemens & Halske. Telephone von Ader, Gower. Mikrophon. Princip desselben. Anwendung des Mikrophons. Mikrophone von Hughes, Ader, Crossley, Gower, Boudet, Blake, Berliner, *Laffert. Schaltung von Telephon und Mikrophon. Rufapparate. Einrichtung zweier Stationen. Anwendung des Telephons in Städten. Centralstellen. Telephon von Dolbear. Elektromotorograph von Edison. *Induktionswage.

8. Kapitel. **Die Telegraphie** 390—413

Verschiedene Arten der Telegraphie. Morse'scher Schreibtelegraph. Taster. Morse-Apparat. Relais. Polarisirtes Relais. Morse-Alphabet. Farbschreiber. Polarisirter Farbschreiber. Selbstauslösung. Typendruckapparat von Hughes. Copirtelegraphen. Oberirdische Leitung. Unterirdische Leitung. Kabel. Kabeltelegraphie. Verzögerung des Stromes. Entladungsstrom. Mittel zu seiner Beseitigung.

Register . 414—419

Einleitung.

Das einzige Gebiet der Physik, welches nur durch eine grosse Reihe schwieriger Untersuchungen überhaupt bekannt werden konnte, ist das Gebiet der Elektricität. Für alle anderen Naturerscheinungen, die reinen Bewegungen, den Schall, das Licht, die Wärme haben wir von der Natur selbst schon die einfachsten Hülfsmittel zu ihrer Erforschung mitbekommen, unsere Sinne; alle diese Naturerscheinungen fühlen wir, sehen wir, hören wir. Wenn auch die Sinne oft uns täuschen, und wenn wir auch zu einer sicheren, gründlichen Kenntniss dieser Erscheinungen uns nicht auf die direkten Angaben unserer Sinne verlassen dürfen, so haben wir durch sie doch wenigstens den Vortheil, dass sie uns in vielen Fällen unmittelbar angeben, ob Erscheinungen vorhanden sind oder nicht. Dieses wichtige Hülfsmittel für die Erforschung der Natur geht uns bei der Elektricität vollständig ab. Wir haben leider keinen elektrischen Sinn. Zum Glück aber hat die Elektricität unter anderen die höchst willkommene Eigenschaft, dass sie sich leicht und fast ohne unser Zuthun in andere Erscheinungsformen verwandelt. Dadurch erst wird diese Kraft, die, wie man immer mehr einsieht, eine der grössten Rollen in der Natur spielt, unseren Sinnen zugänglich. Der Mangel eigener elektrischer Sinnesorgane verlangt also naturgemäss einen Ausgleich. Da wir die Elektricität nicht ohne Weiteres empfinden, so müssen wir statt eigener Sinnesorgane andere Organe, Apparate, anwenden, welche uns nicht nur das Vorhandensein der Elektricität anzeigen, sondern uns auch ihre quantitativen Verhältnisse, ihre grössere und geringere Menge, Dichtigkeit, Spannung u. s. w. zu messen gestatten. Die leichte Umwandlungsfähigkeit der Elektricität, ihre Wirkungen dienen uns dazu, Apparate zu construiren, welche ohne

Weiteres das Vorhandensein der Elektricität anzeigen und das Mass für ihre quantitativen Verhältnisse geben.

Aber noch ein anderer Mangel haftet unserer Kenntniss von den elektrischen Erscheinungen an, ein Mangel, der zwar nicht wie der erste in unserer Natur begründet ist, und der sicherlich über kurz oder lang beseitigt werden wird, der aber, weil er geistiger Art ist, sich oft äusserst fühlbar macht. Wir haben noch keine begründete, stichhaltige Vorstellung davon, was eigentlich Elektricität ist. Bei allen anderen physikalischen Erscheinungen, beim Schall, beim Licht, bei der Wärme ist es durch die langen, aber von Erfolg gekrönten Bemühungen einer grossen Reihe von Forschern gelungen, gewisse Theorieen aufzustellen, welche diese Erscheinungen unserem geistigen Anschauungsvermögen näher bringen. Wir wissen, dass der Schall eine schwingende Bewegung von Körpertheilchen ist, wir wissen, dass das Licht eine Wellenbewegung des Aethers, dass die Wärme eine im Allgemeinen unregelmässige Bewegung der kleinsten Körpertheilchen ist. Aus diesen Grundanschauungen heraus erhalten wir dann für die Begriffe, wie Farbe, Tonhöhe, Temperatur u. s. w. bestimmte Erklärungen, welche diese Begriffe auf andere zurückführen, mit denen wir unmittelbar vertraut sind, so dass wir uns dadurch ein klares, anschauliches Bild von ihnen und ihren Abhängigkeiten machen können. Wir sagen, dass die Farbe des Lichtes abhängt von seiner Wellenlänge, dass die Tonstärke abhängt von der Grösse des Ausschlages eines schwingenden Theilchens u. s. w. Dadurch führen wir diese physikalischen Grössen zurück auf andere mechanische, von denen wir unmittelbare Vorstellungen haben und die uns vollkommen vertraut sind. Bei der Elektricität fehlt uns diese Hülfe noch vollständig. Wir vermuthen zwar mit genügendem Grund, dass das, was wir Elektricität nennen, im Grunde auch nur eine Bewegungsform ist, dass alle die Begriffe, welche in der Elektricitätstheorie uns so viel zu schaffen machen, Elektricitätsmenge, Potential, Widerstand, Intensität, schliesslich auch auf mechanische Grössen zurückgeführt werden werden, aber wir haben noch keine Vorstellung davon, welcher Art diese Bewegung ist. Wir wissen nicht, ob das, was wir Elektricität nennen, eine Wellenbewegung, eine Wirbelbewegung, eine fortschreitende Bewegung u. s. w. ist, und wir können deshalb auch von den erwähnten Begriffen uns noch kein mechanisches Bild machen, sondern wir können sie eben nur als kurze Bezeichnungen für die Erscheinungen anwenden, die wir beobachten. Und dies muss man ganz fest halten, um nicht in Irrthümer zu verfallen. Wenn wir von grösseren oder geringeren Elektricitätsmengen sprechen werden, so dürfen wir uns

nicht vorstellen, dass ein Stoff, Elektricität, in grösserer oder geringerer Menge vorhanden ist, denn die Elektricität hat gar nicht die Eigenschaften eines Stoffes, sondern wir müssen uns vorstellen, dass gewisse Zustände oder Bewegungen mehr oder minder vorhanden sind. Eben dasselbe gilt von allen anderen Bezeichnungen in der Elektricitätstheorie, von der Dichtigkeit, der Spannung der Elektricität, von dem Worte elektrischer Strom, Stromstärke u. s. w. Sie sind alle nicht wörtlich zu nehmen, sondern sie sollen nur kurze Bezeichnungen für die beobachteten Erscheinungen sein.

Die elektrischen Erscheinungen, die man am frühesten beobachtet hat und am längsten kennt, die Erscheinungen der Reibungselektricität, sind dem Anschein nach von den galvanischen Erscheinungen durchaus verschieden. Und doch ist der Unterschied zwischen ihnen nur ein gradueller, ein allmählicher. Sie unterscheiden sich nicht qualitativ von einander, sondern nur quantitativ. Deswegen ist es auch gleichgültig, mit welchen Erscheinungen man die Lehre von der Elektricität beginnt. Im Fortschreiten der Einsichten erkennt man den Zusammenhang zwischen ihnen. Historisch aber hat sich unsere Kenntniss der elektrischen Erscheinungen so entwickelt, dass lange Jahrhunderte hindurch die Erscheinungen der Reibungselektricität allein bekannt waren, dass man nur durch Reibung Elektricität erzeugen und die Erscheinungen verfolgen konnte, welche die Elektricität im Gleichgewicht zeigt. Erst als am Ende des vorigen Jahrhunderts, im Jahre der französischen Revolution 1789, Galvani, oder eigentlich seine Frau, ganz zufällig eine elektrische Wirkung beobachtete, bei der jede durch Reibung erzeugte Elektricität ausgeschlossen war, erst seit dieser Zeit lernte man in den chemischen Processen eine Quelle kennen, die in unvergleichlich grösseren Mengen Elektricität liefert, als man durch Reibung erzeugen kann, und die durch ihre besondere Erscheinungsform sofort die Kenntnisse von den Eigenschaften und Wirkungen der Elektricität um ein Bedeutendes erweiterte. Von dieser Zeit an fand ein stetiger ungehemmter Fortschritt in der Untersuchung der Elektricität und ihrer Wirkungen statt. Eine glänzende Reihe von Namen hervorragender Männer bezeichnet den Fortschritt der Elektricitätslehre. Durch ihren Scharfsinn und ihre Experimentirkunst brachten Männer, wie Faraday, Ampère, Weber, Ohm, Joule, Arago, Davy, Seebeck, Oerstedt, die Kenntnisse der elektrischen Erscheinungen in diesem Jahrhundert zu einer ungeahnten Höhe. Faraday insbesondere war es, der durch die grossartigsten Entdeckungen, durch die originellsten Methoden, durch die scharfsinnigsten Untersuchungen nicht nur die breite Grundlage legte zu dem grossen Bau, den die Elektri-

citätslehre heute einnimmt, sondern der diesen Bau selbst fast bis zu seiner Spitze führte.

Und gerade diejenigen Zweige der elektrischen Erscheinungen, welche für die riesig sich entwickelnde moderne Elektrotechnik die Grundlage bilden, die Induktionserscheinungen, gerade ihre Entdeckung und Erforschung ist Faraday's zweifelloses und ungeschmälertes Verdienst. Immer ist zwar ein grosser Schritt zwischen einem in Laboratorien ausgeführten Versuch und der Anwendung dieses Versuchs für die Praxis, für die Technik, für das Leben. Aber auch hier war es wieder eine Reihe genialer Männer, welche die Anwendbarkeit der Elektricität für die Technik erkannten und welche ihren Scharfsinn und ihre Geschicklichkeit dazu verwendeten, um diese räthselhafte und unerklärte Naturkraft der Menschheit dienstbar zu machen. Die Namen Steinheil, Jacoby, Siemens, Edison, Bell werden stets als Namen von Wohlthätern der Menschheit geehrt werden. Steinheil richtete den ersten elektromagnetischen Telegraphen ein, Jacoby lehrte zuerst die Anwendung der Elektricität zur Abscheidung von Metallen und zur Galvanoplastik, Siemens legte durch seine Erfindung der Dynamomaschine den Grund zu der elektrischen Beleuchtung im Grossen und zur elektrischen Uebertragung der Kraft, Edison gab die Einrichtung der elektrischen Beleuchtung von Häusern und Bell endlich, *last not least*, schenkte uns im Telephon einen Apparat, dessen Anwendungsfähigkeit ebenso gross ist, wie die geniale Einfachheit seiner Construktion.

I. Abschnitt.

Die Erscheinungsweisen und Wirkungen der Elektricität.

I. Abschnitt.

Die Erscheinungsweisen und Wirkungen der Elektricität.

1. Kapitel.

Die Reibungselektricität.

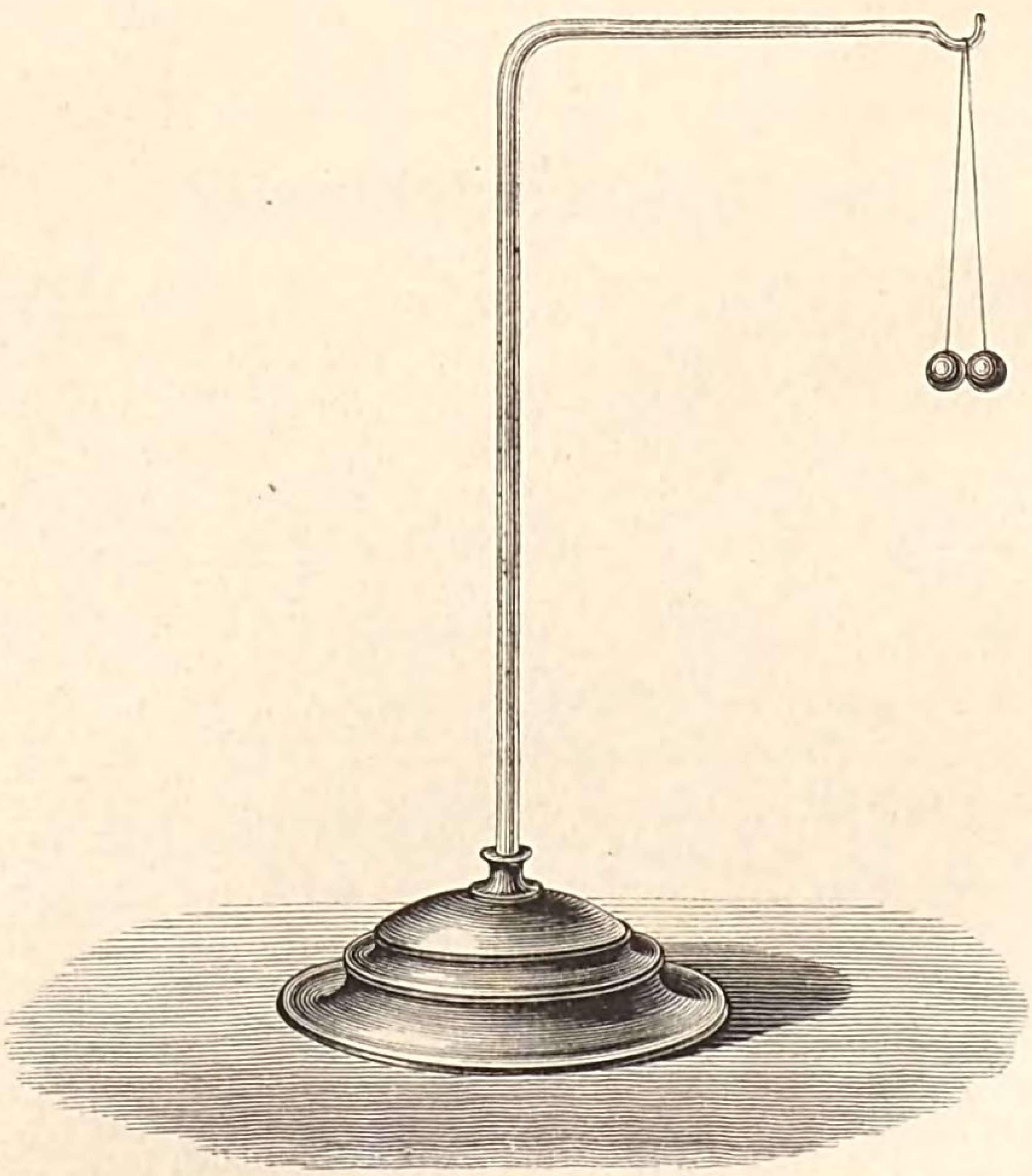
Eine allgemein bekannte Erscheinung ist es, welche die Grundlage für unsere heutige Kenntniss des grossen und vielverzweigten Gebietes der Elektricität bildet. Ein Stück Bernstein, Elektron, zeigt, wenn es mit einem Tuch gerieben wird, die Eigenschaft, leichte Körperchen anzuziehen. Kleine Papierschnitzel, leichte Hollundermarkkügelchen u. s. w. in die Nähe von geriebenem Bernstein gebracht, fliegen an ihn heran. Man muss annehmen, dass der Bernstein durch das Reiben in einen eigenthümlichen Zustand versetzt wird, in welchem er im Stande ist, Kräfte auszuüben, die er sonst nicht zeigt. Diesen eigenthümlichen Zustand, den man durch gar nichts sonst erkennt, als dadurch, dass er eben dem Bernstein erlaubt, leichte Körperchen anzuziehen, diesen Zustand nennt man den elektrischen. Ganz ebenso wie der Bernstein werden aber eine grosse Reihe anderer fester Körper ebenfalls durch Reiben elektrisch. Es ist ja eine durch Spielversuche schon den Kindern bekannte Thatsache, dass Glas, Siegellack, Kautschuk, Ebonit und andere Stoffe durch blosses Reiben mit einem Tuch oder mit Pelz die Fähigkeit erlangen, leichte Papierschnitzel, die man auf den Tisch gestreut hat, anzuziehen. Beobachtet man aber diesen Vorgang genauer, so sieht man, dass er gar nicht so einfach ist. Einzelne von den Papierschnitzeln, die leichteren, fliegen allerdings an eine geriebene Glasstange, an eine geriebene Siegellackstange heran, aber sie bleiben nicht lange an ihr haften, sondern fliegen nach einiger Zeit wieder von der Glas- oder Siegellackstange fort. Man kann also aus diesem Experiment blos schliessen, dass um einen durch Reiben elektrisirten Körper herum gewisse Kräfte vorhanden sind, die nicht vorhanden sind, wenn der Körper unelektrisch

ist. Ueber die Art dieser Kräfte, ob es anziehende oder abstossende sind, kann man aus diesem Experiment noch gar nichts aussagen, weil die Erscheinungen zu complicirt sind.

Es zeigt sich aber weiter, dass viele Körper, wenn sie einen bereits elektrisirten Körper berühren, selbst elektrisch werden, dass sie selbst im Stande sind, Kräfte auszuüben, die sie sonst nicht zeigen. Man kann dies ganz einfach experimentell nachweisen. Man hänge ein leichtes Hollundermarkkügelchen an einem Faden auf und berühre es mit einem elektrisirten Glasstab. Durch diese Berührung wird das Hollundermarkkügelchen selbst elektrisch. Denn wenn man jetzt ein anderes unelektrisches Kügelchen in seine Nähe bringt, so wird dieses auch zuerst angezogen und nach kurzer Zeit wieder abgestossen.

Dieses Verhalten giebt nun ein einfaches Mittel, um zu entscheiden, welcher Art die Kräfte sind, die zwei elektrische Körper auf einander ausüben. Man hänge an ein Gestell zwei Hollundermarkkügelchen neben einander auf (Fig. 1). Berührt man beide Kügelchen

Fig. 1.



mit einem elektrisch gemachten Glasstab, so werden dadurch beide in gleicher Weise elektrisch und diese beiden in gleicher Weise elektrisirten Kügelchen stossen sich nun sofort ab und beharren bei dieser Abstossung. Ganz dasselbe findet statt, wenn man die Kügelchen nicht mit einem elektrisch gemachten Glasstab berührt hat, sondern mit einem elektrisch gemachten Siegellackstab, oder Ebonitstab u. s. w. Immer stossen sich zwei in gleicher Weise elektrisirte Körper ab.

Wenn man aber so verschiedene elektrisirte Substanzen benutzt, Glas, Siegellack, Ebonit, die man durch Reiben elektrisch gemacht hat, so findet man doch ausser dieser Gleichheit der Wirkung auch einen wesentlichen Unterschied zwischen ihnen. Hat man die Kügelchen in Fig. 1 z. B. durch Berühren mit einem elektrisirten Glasstab elektrisch gemacht, so stossen sie sich gegenseitig ab und sie werden auch von dem Glasstab abgestossen. Dagegen werden die beiden Kügelchen von einer elektrisirten Siegellackstange, die man in ihre Nähe bringt, angezogen. Auch das Umgekehrte findet statt. Wenn man die Kügelchen durch Berühren mit der geriebenen Siegellackstange elektrisirt, so stossen sie sich gegenseitig ab und werden auch von der Siegellackstange abgestossen. Dagegen werden sie von einer geriebenen Glasstange angezogen. Wir erfahren also dadurch, dass das, was wir elektrischen Zustand nennen, noch von verschiedener Art sein kann. Eine geriebene Glasstange ist in anderer Weise elektrisch als eine geriebene Siegellackstange. Was die eine anzieht, stösst die andere ab. Man hat diese Erfahrungsthatsache dadurch ausgedrückt, dass man elektrisirte Körper als positiv und negativ unterschied. Man ist übereingekommen, eine durch Reiben mit Pelz elektrisch gewordene Siegellackstange negativ elektrisch zu nennen, die geriebene Glasstange, die sich entgegengesetzt verhält, also positiv elektrisch.

Die Thatsachen, die bisher angeführt wurden, kann man also folgendermassen aussprechen: Ein positiv elektrischer Körper, eine geriebene Glasstange, macht die Korkkügelchen durch Berühren auch positiv elektrisch. Diese beiden positiven Kügelchen stossen sich gegenseitig ab und werden auch von der positiven Glasstange abgestossen. Dagegen werden sie von einem negativ elektrischen Körper, der Siegellackstange, angezogen. Ebenso: Ein negativ elektrischer Körper, eine geriebene Siegellackstange, macht durch Berühren auch die Korkkügelchen negativ elektrisch. Diese stossen sich dann gegenseitig ab, werden auch von der negativen Siegellackstange abgestossen, dagegen von der positiven Glasstange angezogen. Ganz kurz drückt man diese Erfahrungsthatsache so aus:

Gleichnamig elektrisirte Körper stossen einander ab, ungleichnamig elektrisirte Körper ziehen einander an.

Die Körper, von denen bisher die Rede war, die durch Reiben elektrisch wurden, Glas, Siegellack, Ebonit, Kautschuk u. s. w., waren lauter unmetallische Stoffe. Diese Körper zeigen in elektrischer Beziehung zwei Eigenschaften. Erstens, sie werden durch Reiben leicht elektrisch, und zwar nur an den Stellen, an denen sie gerieben wurden, und zweitens, sie behalten ihren elektrischen Zustand, wenn er einmal erregt ist. Ganz wesentlich anders verhalten sich die Metalle in elektrischer Beziehung. Auch Metalle werden durch Reiben elektrisch gemacht, aber sie bleiben nicht, wie die vorher erwähnten Körper, nur an den Stellen elektrisch, an denen sie gerieben wurden, sondern der elektrische Zustand verbreitet sich sofort über das ganze Metall. Ebenso wie die Metalle verhalten sich auch eine Reihe anderer Substanzen, viele Flüssigkeiten, Holz, Erde u. s. w., verhält sich insbesondere auch

der menschliche Körper. Hält man daher einen Metallstab in der Hand und reibt ihn, so wird zwar der elektrische Zustand auf ihm erzeugt, aber dieser verbreitet sich sofort über das ganze Metall, über die Hand und den ganzen Körper des Menschen, über den Fussboden und die Wände des Zimmers, in dem man sich befindet, schliesslich über die ganze Erde, so dass er auf eine so überaus grosse Fläche vertheilt ist, dass er gar nicht mehr erkannt werden kann. Man bezeichnet diese Vertheilung des elektrischen Zustandes kurz dadurch, dass man sagt, die Elektricität ist zur Erde abgeleitet.

Ein so in der Hand gehaltener, geriebener Metallstab scheint also unelektrisch geblieben zu sein, indem er z. B. auf die Hollundermarkkügelchen gar keine Kraft ausübt. Thatsächlich wurde er elektrisch, theilte aber seine Elektricität einer solchen Menge von Körpern mit, dass sie auf ihm nicht mehr merkbar war. Daraus folgt: Will man ein Metall durch Reiben elektrisch machen und es in elektrischem Zustand behalten, so darf man es nicht direkt in der Hand halten, sondern man muss das Metall mit einem Griff von Glas, Siegellack, Ebonit u. s. w. versehen. Dann bleibt die Elektricität auf dem Metall, wenn sie dort entwickelt wurde, und wird nicht abgeleitet und verbreitet.

Man unterscheidet deshalb in elektrischer Beziehung zwei Klassen von Körpern. Die Stoffe, wie Glas, Siegellack u. s. w., nennt man Isolatoren, weil sie die Elektricität auf sich bewahren, isoliren, wenn sie einmal auf ihnen erregt ist. Die Metalle und einige andere Stoffe nennt man Leiter oder Conduktoren, weil sie die Elektricität sofort fortleiten. Es ergiebt sich aus diesem Unterschied die praktische Regel, dass, wenn man auf Leitern den elektrischen Zustand erhalten will, man sie immer ganz mit Isolatoren umgeben oder, wie man sagt, sie isoliren muss. Denn wenn der benutzte Leiter mit anderen Leitern irgendwie in Berührung ist, so theilt er seine Elektricität diesen mit. Man versieht deswegen in elektrischen Untersuchungen die Metalle mit Griffen oder Füssen von Glas, Ebonit, Siegellack, man überspinnt Drähte mit Seide oder umgiebt sie mit Kautschuk.

Die Unterschiede zwischen Isolatoren und Leitern sind also folgende:

Auf einem Isolator kann man durch Reiben oder durch Berühren mit einem elektrischen Körper den elektrischen Zustand herstellen. Derselbe bleibt auch auf ihm bestehen. Nur diejenigen Theile eines Isolators werden elektrisch, welche wirklich gerieben oder berührt wurden. Berührt man eine elektrische Stelle mit der Hand oder mit einem Leiter, der mit der Erde in Verbindung ist, so wird nur an dieser Stelle die Elektricität abgeleitet, der ganze übrige Isolator, soweit er gerieben war, bleibt elektrisch.

Auf einem unisolirten Leiter kann man den elektrischen Zustand nicht herstellen, weil er sich sofort über die ganze Erde verbreitet.

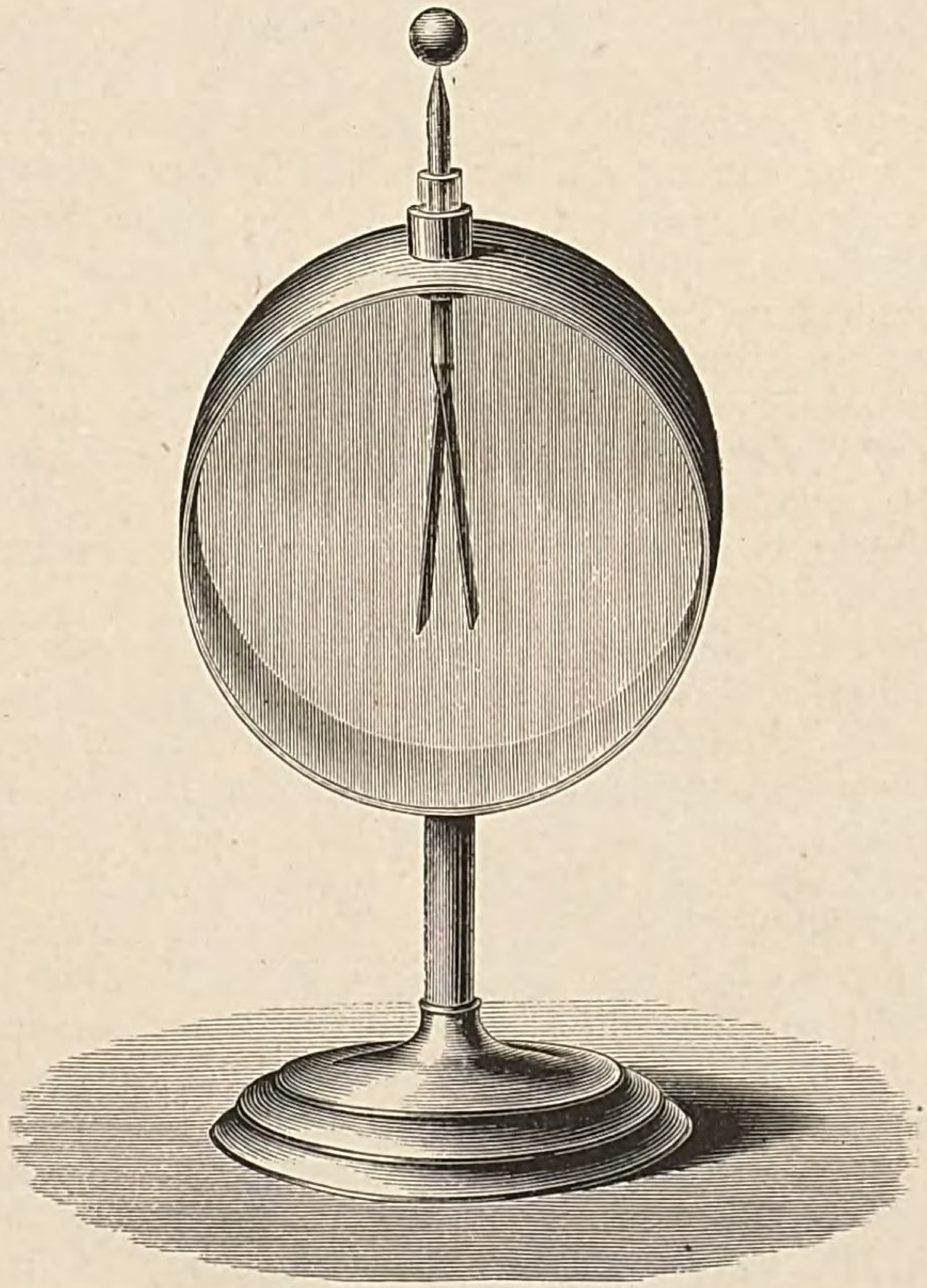
Auf einem isolirten Leiter kann man den elektrischen Zustand durch Reiben oder Berühren leicht herstellen. Derselbe bleibt auf ihm bestehen, weil eben der Leiter isolirt ist. Nicht nur die wirklich geriebenen oder berührten Theile werden elektrisch, sondern

der Leiter in seiner ganzen Ausdehnung. Die Elektricität verbreitet sich sofort über die ganze Oberfläche des Leiters. Berührt man einen elektrisirten Leiter mit der Hand, so wird er vollständig unelektrisch, nicht nur an dem berührten Punkte, sondern überall, weil die ganze Elektricität zur Erde abgeleitet wird.

Man sieht daraus, dass ein isolirter Leiter für elektrische Untersuchungen grosse Vorzüge vor einem Isolator hat. Ein Leiter muss, wenn er blos an einer Stelle mit einem elektrisirten Körper berührt wurde, überall elektrisch werden, und kann ebenso einfach durch blosses Ableiten an einer Stelle ganz unelektrisch gemacht werden. Man verwendet deshalb für elektrische Untersuchungen mit Vortheil isolirte Leiter.

Die erste Anwendung, die man von diesem Verhalten der Leiter machen kann, ist die Construktion eines zweckmässigen Apparates, der dazu dient, anzuzeigen, ob ein Körper elektrisch ist oder nicht,

Fig. 2.



eines Elektroskops. Man nimmt zwei leichte Streifchen von Blattgold als leitende Körper, befestigt diese an einem metallenen Stäbchen, das an seinem anderen Ende eine metallene Kugel, einen Knopf, trägt und steckt das Stäbchen isolirt, durch Kautschuk oder

Siegellack in ein Gehäuse mit Glaswänden. Damit ist ein einfaches Elektroskop construirt (Fig. 2). Sowie der Knopf des Apparates mit einem elektrischen Körper berührt wird, wird ihm etwas Elektricität mitgetheilt; diese vertheilt sich über das Stäbchen und die Streifchen von Blattgold, da diese ja Leiter sind, und die beiden leichten Streifchen stossen einander ab, da sie ja gleichnamig elektrisirt sind. Es zeigt sich also die Elektricität eines Körpers, mit dem man den Knopf berührt, durch die Divergenz der Goldblättchen an. Man nennt den Apparat ein Goldblattelektroskop. Man kann diesen Apparat sofort dazu benutzen, um auf einfache Weise zu untersuchen, welche Körper durch Reiben positiv elektrisch werden und welche negativ. Man berührt z. B. den Knopf des Elektroskops mit einer geriebenen Siegellackstange. Dann werden die Goldblättchen negativ elektrisch und stossen sich ab. Bringt man nun an den Knopf einen anderen negativ elektrischen Körper, so werden die Goldblättchen stärker negativ und divergiren in Folge dessen mehr als früher; bringt man einen positiv elektrischen Körper heran, so werden die Goldblättchen schwächer negativ und divergiren in Folge dessen weniger. Diese Methode besitzt noch viele Mängel, und wir werden im Fortschreiten unserer Kenntnisse weit geeignetere Apparate dafür finden, aber schon auf diese Weise kann man untersuchen, welche Körper durch Reiben positiv und welche negativ elektrisch werden. Auf diese Weise findet man, dass durch Reiben zweier Körper an einander immer beide Körper elektrisch werden, und zwar der eine immer positiv, der andere negativ. So wird Siegellack durch Reiben mit Pelzwerk negativ, das Pelzwerk selbst positiv elektrisch. Glas wird durch Reiben mit Zinnamalgam (das man auf Leder aufstreicht) positiv, das Amalgam negativ elektrisch. Harze und Schwefel werden durch Reiben mit Wolle oder Seide oder Leinen negativ elektrisch, die Wolle u. s. w. werden dabei positiv elektrisch.

Eine zweite, wichtige Anwendung, die man von dem Goldblattelektroskop machen kann, ist die, zu untersuchen, ob ein Körper ein Leiter ist, oder ein Isolator. Hat man die Goldblättchen durch Elektrisiren zur Divergenz gebracht, so bleiben sie so lange divergent, als ihre Elektricität nicht zur Erde abgeleitet wird. Berührt man den Knopf des Elektroskops mit einer (unelektrischen) Glasstange, so bleiben die Goldblättchen divergent, denn Glas ist ein Isolator. Berührt man ihn dagegen mit einem unisolirten Metallstab, den man in der Hand hält, so fallen die Goldblättchen sofort zusammen, denn die Elektricität hat sich sofort über die ganze Erde verbreitet. Auf diese Weise erkennt man sofort, dass die Luft ein Isolator ist. Denn der Knopf des Apparates ist ja für gewöhnlich stets mit Luft in Berührung und die Blättchen bleiben doch divergent. Man kann auf diese Weise alle Körper daraufhin untersuchen, ob sie Leiter oder Isolatoren sind. Aber dabei zeigt es sich, dass dieser Unterschied nicht ein ganz scharf getrennter ist, dass vielmehr ein stetiger Uebergang zwischen Leitern und Isolatoren stattfindet. Legt man ein unisolirtes Metall an den Knopf des (geladenen) Elektroskops, so fallen die Goldblättchen im Moment zusammen. Ebendasselbe geschieht,

wenn man den Knopf mit der Hand, oder mit Kohle und anderen Stoffen berührt. Berührt man den Knopf dagegen z. B. mit Papier, so findet im ersten Moment kein Zusammenfallen der Goldblättchen statt, aber ganz allmählich divergiren sie immer weniger und nach mehr oder minder langer Zeit hängen sie unelektrisch neben einander. Berührt man den Knopf mit trockenem Glas oder mit Schellack u. s. w., so dauert es sehr lange Zeit, bis die Goldstreifchen zusammenfallen, aber am Ende hört die Divergenz doch auf. Man ersieht daraus, dass man die Körper nicht einfach streng in Leiter und Isolatoren scheiden darf, sondern dass man vielmehr sagen muss, alle Körper leiten die Elektricität, aber in ausserordentlich verschiedenem Masse. Die Metalle leiten sie ausserordentlich gut, andere Substanzen viel schlechter, die sogenannten Isolatoren ganz überaus schlecht, oder für gewöhnliche praktische Zwecke gar nicht. Dieselbe Thatsache kann man auch anders ausdrücken, indem man sagt, alle Körper setzen dem Durchgang der Elektricität einen gewissen Widerstand entgegen; die Isolatoren einen so ausserordentlich grossen, dass die Elektricität im Allgemeinen nicht durch sie hindurch gehen kann, die anderen Stoffe, wie feuchtes Papier, einen viel kleineren, die Metalle endlich einen ausserordentlich kleinen, so dass die Elektricität im Moment durch sie hindurchgehen kann. Für praktische Zwecke kann man aber die Eintheilung in Leiter und Isolatoren immer beibehalten. Zu den Leitern gehören ausser den Metallen noch Kohle, Graphit, Säuren, Salzlösungen, menschliche und thierische Körper, Leinen, Baumwolle; zu den Isolatoren gehören trockene Metalloxyde, Oele, Kautschuk, Porzellan, Leder, Wolle, Seide, Glimmer, Glas, Wachs, Schwefel, Salze, Bernstein, Schellack. Alle die letzterwähnten Substanzen kann man also zum Isoliren von Leitern benutzen.

Wir haben gesehen, dass man einen isolirten Leiter durch Berühren mit einem elektrisirten Körper, z. B. mit einem geriebenen Glas, elektrisch machen kann. Der Leiter bekommt dadurch Elektricität von derselben Art, wie diejenige, welche der berührende Körper enthielt. Die Elektricität bleibt auf dem Leiter nicht an der Berührungsstelle allein, sondern der ganze Leiter wird sofort elektrisch. Man sagt, die Elektricität vertheilt sich auf dem Leiter. Berühren wir den Leiter nun zum zweiten Mal mit dem elektrisirten Glasstab, so wird ihm wieder neue Elektricität mitgetheilt, die sich auch wieder über die ganze Oberfläche des Leiters vertheilt. Und so können wir dem Leiter ein drittes, ein viertes Mal Elektricität zuführen u. s. w. Es wird dadurch der isolirte Leiter immer stärker elektrisch. Man sagt von ihm, er wird immer stärker geladen. Je stärker der Körper geladen ist, desto kräftiger stösst er ein aufgehängtes Korkkügelchen unter sonst gleichen Umständen ab. Man kann auch in übertragener Weise dies so ausdrücken, dass man sagt, ein elektrisirter Körper, der, unter sonst gleichen Umständen, eine grössere Kraft auf ein elektrisirtes Korkkügelchen ausübt, enthält eine grössere Elektricitätsmenge. Man darf bei diesem Wort Elektricitätsmenge nicht an eine gewisse Menge Substanz denken, sondern muss dieses Wort nur als kurze Bezeichnung für die Thatsache ansehen, dass ein

elektrischer Körper grössere oder geringere Kräfte ausüben kann. Man spricht auch von Lichtmenge, von Wärmemenge, ohne anzunehmen, dass Licht oder Wärme ein Stoff ist. Selbstverständlich unterscheidet man positive und negative Elektricitätsmengen. Wir schliessen also aus der Kraft, die ein elektrisirter Körper zeigt, auf die Elektricitätsmenge, die er enthält. Ueben zwei geladene Körper die gleiche Kraft auf dasselbe Korkkügelchen in derselben Entfernung aus, so sagen wir, sie enthalten gleiche Elektricitätsmengen. Uebt der eine eine doppelt so grosse Kraft aus, so sagen wir, er enthält eine doppelt so grosse Elektricitätsmenge. Wir messen dann also die gesammte Elektricitätsmenge, die ein Körper enthält, aus der Kraft, die er auf ein in bestimmter Entfernung befindliches kleines elektrisirtes Korkkügelchen ausübt.

Die Kraft nun, die ein elektrisirter Körper auf einen andern ausübt, ist an Grösse verschieden, je nach der Entfernung, in welcher die beiden Körper sich von einander befinden. Es entstand natürlich die Frage, in welcher Weise ändert sich die Kraft, mit der ein elektrisirter Körper auf einen anderen wirkt, mit der Entfernung dieser beiden Körper von einander. Um dies zu entscheiden, muss man das Experiment befragen und sehr kleine elektrisirte Körper daraufhin untersuchen, weil bei diesen ihre Gestalt nicht mehr von Einfluss ist. So kam man allmählich, indem man sich immer kleinere und kleinere elektrisirte Körper vorstellte, schliesslich zu dem Begriff eines elektrischen Punktes. Man versteht darunter ein unendlich kleines Körperchen, welches mit einer gewissen Elektricitätsmenge geladen ist. Das Grundgesetz nun, das Coulomb durch eine sehr mühsame Untersuchung gefunden hat, lautet:

Die Kraft, welche zwei elektrische Punkte auf einander ausüben, ist gleich dem Produkt ihrer Elektricitätsmengen, dividirt durch das Quadrat ihrer Entfernung, und diese Kraft ist eine abstossende, wenn die beiden Punkte gleichnamig, eine anziehende, wenn sie ungleichnamig elektrisirt sind.

Will man also die Kraft bestimmen, welche zwei ausgedehnte elektrische Körper auf einander ausüben, so muss man sich jeden in eine sehr grosse Anzahl von elektrischen Punkten zerlegt denken und für je zwei solche Punkte die Kraft bestimmen. Die Summe aller dieser Kräfte ist dann die wirkliche Kraft, welche die beiden geladenen Körper auf einander ausüben.

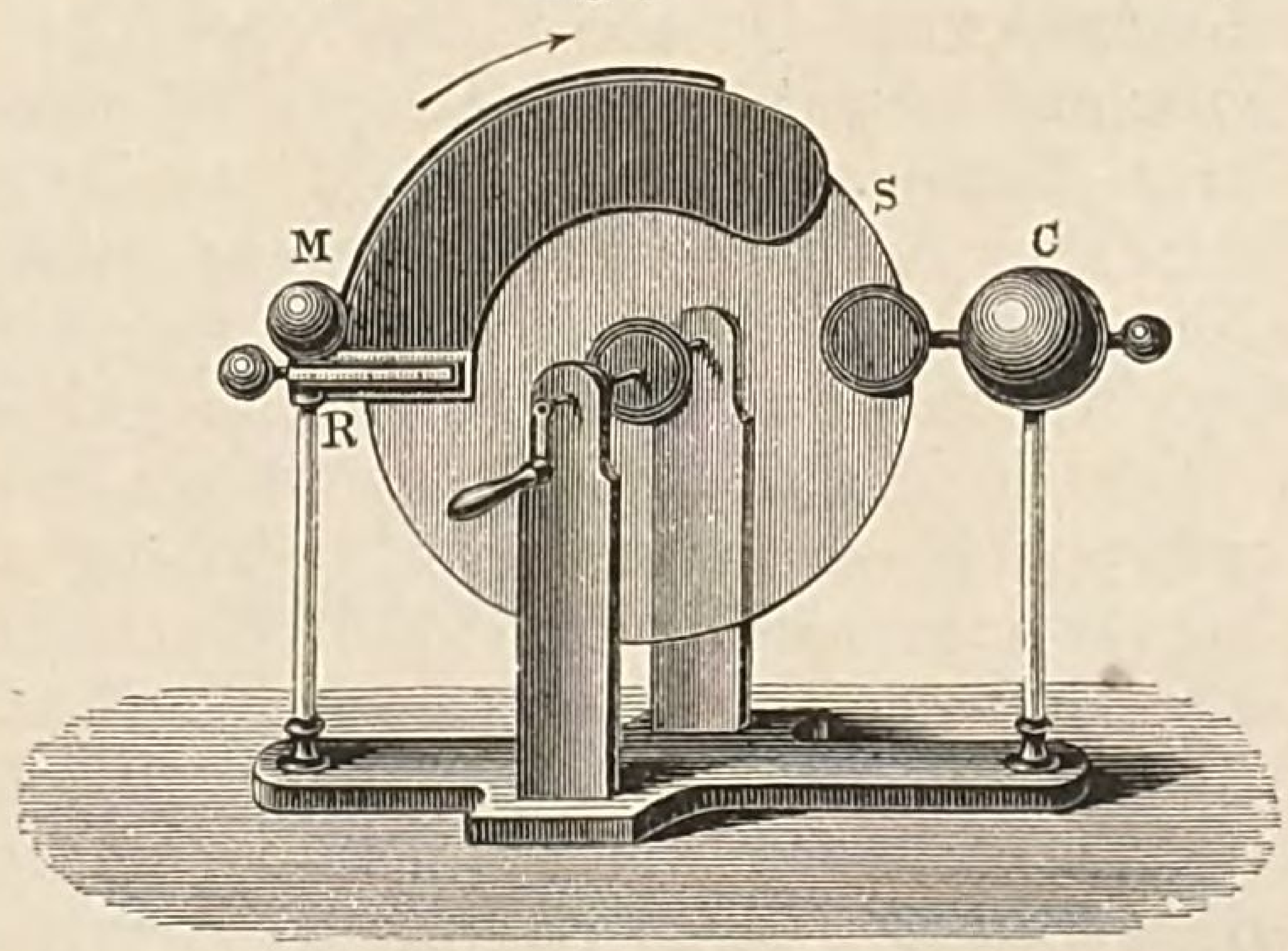
Man nennt das oben angeführte Gesetz nach seinem Entdecker das Coulomb'sche Gesetz.

Wir können aus dem Coulomb'schen Gesetz auch mit Leichtigkeit eine Einheit für die Elektricitätsmengen festsetzen. Wir sahen, dass wir auf die Grösse einer Elektricitätsmenge schliessen durch die Kraft, welche sie ausübt. Falls wir also für Kräfte eine Einheit haben, können wir auch für Elektricitätsmengen eine von dieser abhängige Einheit einführen. Nun ist aber die Einheit der Kraft bereits in der Mechanik festgesetzt. Die Einheit der Kraft ist diejenige, welche der Masse eines Gramms in einer Sekunde eine Geschwindigkeit von einem

Centimeter ertheilt. Danach ist also z. B. die Kraft, welche die Erde auf ein Kilogramm ausübt, gleich 1000 × 981 Einheiten, weil durch die Erdanziehung ein Körper in einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 981 Centimeter bekommt. Da also die Einheit der Kraft bestimmt ist, so können wir auch jetzt für Elektricitätsmengen eine Einheit definiren. Wir nennen diejenige Elektricitätsmenge die Einheit, welche auf eine gleich grosse in der Entfernung von 1 Centimeter befindliche, eine Kraft ausübt, deren Grösse gleich eins ist. Statt dieser Einheit, der sogenannten elektrostatischen, braucht man aber nach neueren Festsetzungen, insbesondere für praktische Zwecke, jetzt eine andere, welche auf anderer Grundlage beruht, und welche etwa drei tausend Millionen mal so gross wie die von uns bestimmte ist. Man nennt diese Einheit 1 Coulomb. So spricht man von 1000 Coulombs, 5000 Coulombs u. s. w., die ein elektrisirter Körper enthält. Der Grund, der zur Einführung dieser Einheit geführt hat, wird später (Kap. 9) klar werden.

Da wir Elektricität durch Reiben stets erzeugen können, und da wir einem isolirten Leiter durch wiederholte Berührung mit einem elektrisirten Körper beliebige Mengen von Elektricität mittheilen können, so liegt der Gedanke nahe, eine Maschine zu construiren, welche gestattet, auf bequeme Weise durch Reiben Elektricität fortwährend zu erzeugen und zugleich einen isolirten Leiter mit ihr zu laden. Diese Aufgabe führt bei einiger Ueberlegung sofort auf die Construktion einer Elektrisirmaschine. Statt eine Glasröhre in der Hand mit Leder zu reiben, das mit Zinnamalgam bestrichen ist, setzt man eine runde Glasscheibe S (Fig. 3) fest auf eine Axe auf, durch welche man sie mittelst einer Kurbel drehen kann, und lässt nun die Glasscheibe bei der Drehung sich fortwährend an zwei mit Amalgam bestrichenen Lederscheiben R, dem sogenannten Reibzeug, reiben. Das Reibzeug ist durch eine Schraube ziemlich fest gegen die Glasscheibe angedrückt. Dadurch wird also auf der Scheibe fortwährend positive Elektricität erzeugt, auf dem Reibzeug negative. Wenn man nun in die Nähe der Glasscheibe einen isolirten Leiter C stellt, von dem Holzringe ausgehen, welche feine Spitzen, Nähnadeln, der Scheibe gegenüber haben, so saugen diese Spitzen, wie wir sofort erklären werden, die positive Elektricität aus der Glasscheibe fortwährend in sich, und da sie in leitender Verbindung mit dem Conduktor C stehen, so verbreitet sich die Elektricität von ihnen aus auf den Conduktor. Der isolirte Leiter C wird also positiv geladen und zwar um so stärker, je länger man die Glasscheibe dreht. Zugleich steht das Reibzeug R in Verbindung mit

Fig. 3.



einem anderen isolirten oder zur Erde abgeleiteten Leiter M und auf diesem kann sich die negative Elektricität verbreiten. An dem Reibzeug ist noch ein nach oben gebogener Ebonitstab befestigt, an welchem zwei Stücke Seidenzeug hängen, die von dem Reibzeug an bis beinahe zu den Saugspitzen sich an die Glasscheibe anhängen. Der Grund, der zur Anbringung dieses Seidenzeuges führte, wird später klar werden.

So haben wir also ein einfaches Mittel, um dem Leiter C positive oder dem Leiter M negative Elektricität in beliebiger Menge zuzuführen.

Wir müssen nun eine Betrachtung anstellen, die uns zu einem Begriff der Elektricitätslehre führen wird, dessen hohe Bedeutung allmählich immer mehr zum Vorschein gekommen ist.

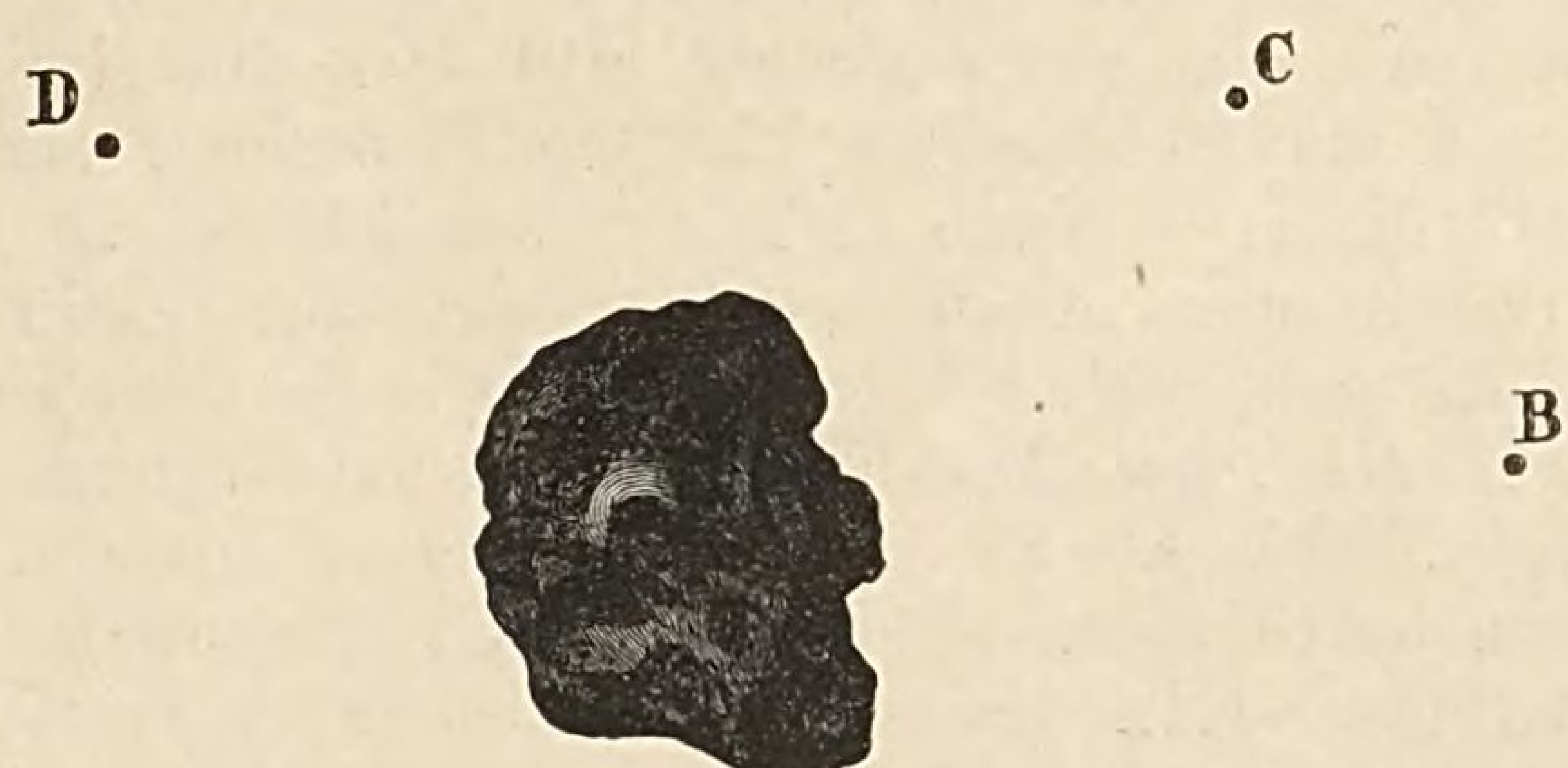
Eine jede Kraft ist im Stande, Arbeit zu leisten. Wenn eine Kraft, mag sie herrühren, woher sie wolle, an einem Körper angreift und dieser Körper sich unter dem Einfluss dieser Kraft bewegt, so leistet die Kraft Arbeit an dem Körper und die Grösse dieser Arbeit wird stets gemessen durch das Produkt aus der Grösse der Kraft in die Wegstrecke, um welche sich der Körper in der Richtung der Kraft fortbewegt hat. Wenn wir umgekehrt den Körper dieser auf ihn wirkenden Kraft entgegen bewegen wollen, so müssen *wir* Arbeit leisten, um die Kraft zu überwinden und die Arbeit, welche wir *gegen* diese Kraft leisten, ist ebenso wieder das Produkt aus der Kraft und dem zurückgelegten Wege in der Richtung der Kraft. Wenn z. B. ein Stein sich auf einem Brett 10 Meter über dem Erdboden befindet, und man zieht das Brett unter dem Stein weg, so dass dieser frei hinabfallen kann, so geschieht das unter der Wirkung der Schwerkraft und es leistet in Folge dessen die Schwerkraft Arbeit. Die Grösse dieser Arbeit ist gleich dem Produkt aus der Schwerkraft und der durchfallenen Höhe (10 Meter). Wenn wir umgekehrt denselben Stein vom Boden aufheben und ihn auf 10 Meter Höhe bringen, so müssen wir eine Arbeit gegen die Schwerkraft leisten und die Grösse dieser von uns geleisteten Arbeit ist genau dieselbe, wie diejenige, welche im früheren Fall die Erdschwere geleistet hat.

Ein anderes Beispiel. Wenn ein Angler an einem Teich sitzt und ein Fisch beisst an den Haken an und will fortschwimmen, so übt er eine gewisse Kraft auf die Angelschnur aus. Folgt der Angler dem Zuge des Fisches, so übt der Fisch mit seiner Kraft eine gewisse Arbeit aus. Bleibt der Angler aber sitzen und zieht den Fisch zu sich heran, so leistet er dadurch eine gewisse Arbeit gegen die Kraft des Fisches. Diesen Begriff der Arbeit wollen wir nun auf elektrische Körper anwenden.

Wir denken uns einen ganz beliebigen elektrisirten Körper A (Fig. 4), der ganz allein in der ganzen Welt vorhanden sei. Von diesem Körper gehen überallhin Kräfte aus. Der Körper sei z. B. positiv elektrisch. Wenn wir nun an irgend einen Punkt etwa B ein kleines positiv elektrisches Theilchen, 1 Coulomb, hinbringen, welches sich ganz frei bewegen kann, so wird es unter dem Einfluss der elektrischen Kräfte von A abgestossen und immer weiter abgestossen werden, bis es sich

in die Unendlichkeit verliert. Die Kräfte des Körpers A leisten dann also Arbeit an dem Theilchen B. Wenn wir umgekehrt das Theilchen aus der Unendlichkeit gegen A heranführen und immer näher bringen bis zum Punkte B, so müssen wir Arbeit gegen die Kräfte des Körpers A leisten. Von vornherein scheint es, als ob man ver-

Fig. 4.



schiedene Arbeitsmengen aufwenden müsste, um das Theilchen von der Unendlichkeit bis nach B zu bringen, je nach dem Wege, auf welchem man es dorthin bringt. Es könnte die nöthige Arbeit eine verschiedene Grösse haben, ob man das Theilchen auf dem kürzesten Wege nach B bringt, oder auf vielen beliebigen Umwegen. Da aber die elektrischen Kräfte der Grösse nach nur von der Entfernung abhängen, so beweist die Mathematik, dass diese nöthige Arbeit unabhängig ist von dem Wege. Immer, wenn wir das Theilchen aus der Unendlichkeit nach dem Punkt B bringen entgegen den Kräften, die von A ausgehen, müssen wir eine ganz bestimmte Arbeit leisten. Bringen wir das Theilchen nicht nach B, sondern nach einem anderen Punkte C oder D, so müssen wir eine andere Arbeit leisten. Kurz, welchen Punkt im Raume wir auch wählen mögen, stets hat die Arbeit einen ganz bestimmten Werth, welche gegen die Kraft des Körpers A geleistet werden muss, um ein elektrisches Theilchen bis zu diesem Punkte zu bringen. Man nennt die Grösse der so bestimmten Arbeit das Potential der Kräfte von A an dem bestimmten Punkte. Also an jedem Punkte im Raume um den Körper A herum ist ein bestimmtes Potential vorhanden. Haben wir nicht nur einen elektrischen Körper A, sondern eine beliebige Menge, so muss doch an jedem Punkte des Raumes die Gesammtkraft eine bestimmte Grösse haben und daher ist auch dann an jedem Punkt ein bestimmtes Potential vorhanden. Je näher ein Punkt an dem elektrisirten Körper ist, desto grösser ist natürlich sein Potential, denn um so mehr Arbeit muss man aufwenden, um ein elektrisches Theilchen bis zu diesem Punkt zu bringen. Je weiter ein Punkt entfernt ist, desto kleiner ist sein Potential. Rings um den Körper A herum wird an sehr vielen Punkten dasselbe Potential vorhanden sein. Alle solche Punkte, welche den gleichen Werth des Potentials haben, kann man sich verbunden denken. Dann wird man eine Fläche haben, welche den elektrisirten Körper umschliesst. Alle Punkte auf einer

solchen Fläche haben dann dasselbe Potential. So kann man sich eine beliebige Menge von solchen Flächen denken, welche den elektrisirten Körper umgeben, wie die Schalen einer Zwiebel. Auf jeder Schale haben alle Punkte dasselbe Potential, aber von Schale zu Schale ändert es sich.

Je näher die Schalen an dem Körper A sind, desto grösser ist das Potential, welches auf ihnen herrscht. Man nennt jede solche Schale eine Fläche gleichen Potentials oder eine Niveaufläche. Denken wir uns ein elektrisches Theilchen, welches sich auf einer dieser Schalen befindet. Wenn es frei beweglich ist, so wird es von den Kräften des Körpers A abgestossen und geht bis in die Unendlichkeit fort. Es geht also von der einen Fläche gleichen Potentials fort und durch die folgenden Flächen gleichen Potentials hindurch bis in die Unendlichkeit. Es bewegt sich also unter dem Einfluss der Kräfte von selbst von Flächen höheren Potentials zu Flächen niederen Potentials. Ein frei bewegliches, positiv elektrisches Theilchen bewegt sich stets von Stellen höheren Potentials zu Stellen niederen Potentials, soweit es sich eben bewegen kann.

Ganz so, wie jeder Punkt ausserhalb des elektrischen Körpers A ein bestimmtes Potential hat, hat auch jeder Punkt des Körpers A selbst ein bestimmtes Potential. Denn auf jeden Punkt des Körpers wirken ja alle Kräfte, die von seiner eigenen Elektricitätsmenge und von denen der anderen elektrisirten Punkte herrühren. Daraus folgt, dass auch in dem elektrisirten Körper selbst jedes Theilchen von einer Stelle höheren Potentials zu einer Stelle niederen Potentials sich fortzubewegen streben muss. Hier findet nun ein wesentlicher Unterschied zwischen Isolatoren und Leitern statt.

Wir haben gesehen, dass ein Leiter die Eigenschaft hat, dass in ihm der elektrische Zustand nicht an einem einzigen Punkte oder an einigen wenigen Stellen bleiben kann, sondern dass er sich sofort durch den ganzen Leiter verbreitet, wenn er an einem Punkte (etwa durch Berührung mit einem elektrisirten Körper) erregt ist. Mag nun die Elektricität sein, was sie wolle, so folgt daraus, dass die Elektricität (sei sie nun ein Stoff, oder eine Bewegungsform, oder ein Zustand) sich in leitenden Körpern mit ausserordentlicher Leichtigkeit von Punkt zu Punkt bewegt, während sie in Isolatoren an ihrer ursprünglichen Stelle beharrt.

Theilt man nun einem Leiter eine gewisse Menge Elektricität mit, so folgt aus dem Obigen, dass die Elektricität sich in dem Leiter so verschiebt, dass sie stets von Stellen höheren Potentials zu Stellen niederen Potentials übergeht. Wenn also Gleichgewicht eingetreten ist, so muss an jeder Stelle des Leiters dasselbe Potential herrschen, denn sonst würde sich die Elektricität ja noch weiter verschieben. Wir haben also den Satz:

Wenn Elektricität auf einem Leiter im Gleichgewicht ist, so hat jeder Punkt auf und in dem Leiter dasselbe Potential. Die Oberfläche eines Leiters ist also eine Fläche gleichen Potentials. Ein specieller Fall davon ist der, dass ein

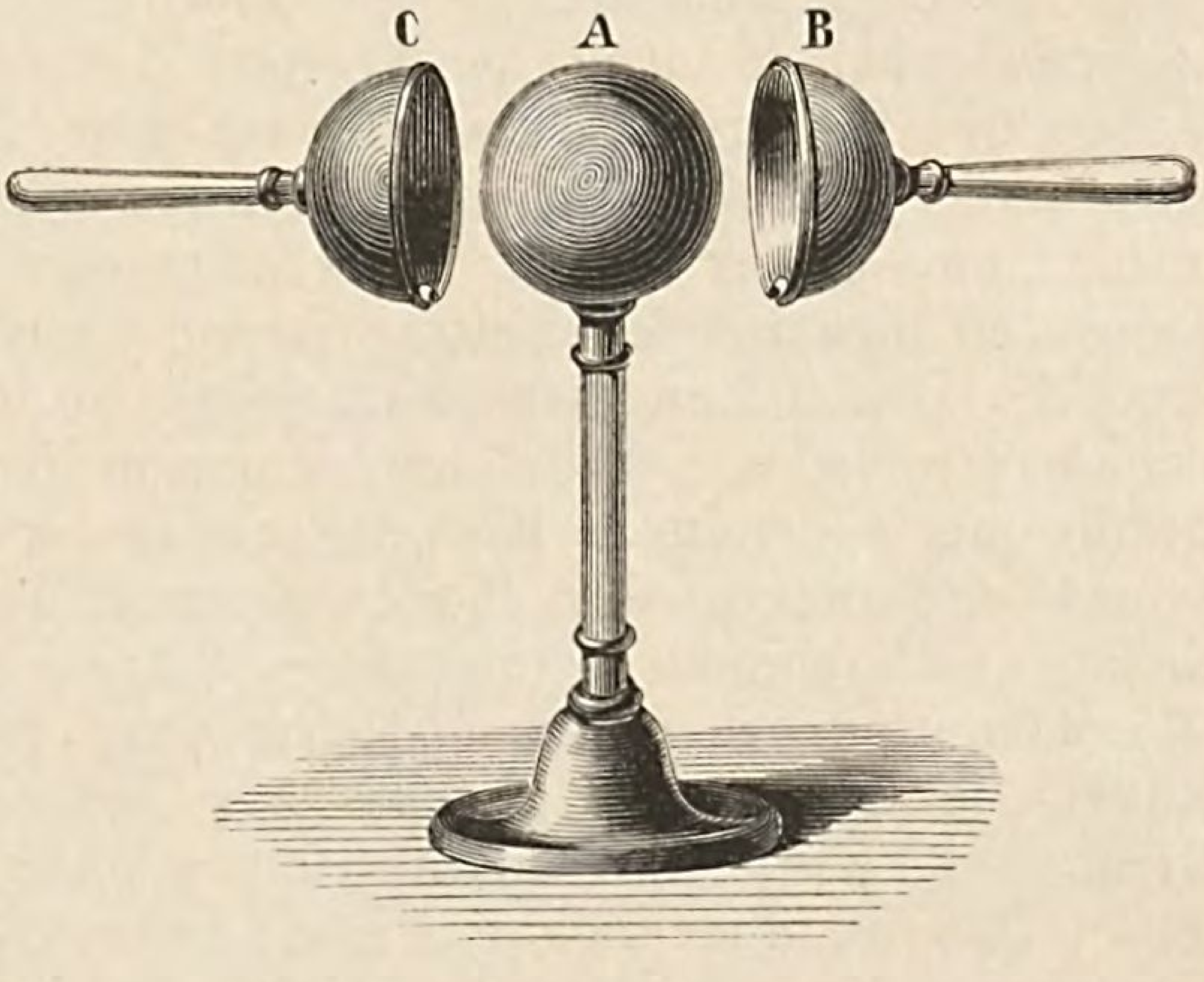
Leiter mit der Erde verbunden wird. Dann muss der Leiter dasselbe Potential haben wie die Erde. Das Potential der Erde bezeichnen wir aber als Null. Ein zur Erde abgeleiteter Leiter hat demnach das Potential Null.

Ferner folgt aus obigem Satze, dass die Elektricität nicht im Innern des Leiters bleiben kann; denn sie muss sich eben von selbst so lange verschieben, bis sie nicht weiter gehen kann, also bis alle Elektricität an der Oberfläche des Leiters sich befindet. Also:

Wenn Gleichgewicht vorhanden ist, so befindet sich die Elektricität nur an der Oberfläche des Leiters.

Faraday hat diese Forderung durch einen grossen Versuch bestätigt. Er liess einen grossen Würfel aus Kupferdraht machen, einen Würfel von mehr als drei Meter Seitenlänge, in welchen also ein Mann bequem hineingehen konnte. Die Wände dieses Würfels liess er mit Stanniolpapier, einem leitenden Körper, beziehen. Dann begab er sich selbst mit sehr empfindlichen Elektroskopen in diesen Würfel hinein, der isolirt aufgestellt war, und liess den Würfel von aussen durch eine Elektrisirmaschine sehr stark elektrisiren. Trotzdem nun auf der Oberfläche des Würfels ausserordentlich grosse Elektricitätsmengen vorhanden waren, konnte er inwendig, auch an der Innenfläche, nicht eine Spur von Elektricität nachweisen. Die obige Forderung, die aus dem Wesen der Leiter folgte, ist also unbedingt bestätigt. Es lässt sich die Richtigkeit dieses Satzes auch durch einen einfachen Versuch zeigen. Eine isolirte Metallkugel A (Fig. 5) wird stark elektrisirt und dann mit den beiden Halbkugeln B und C, die an isolirten Griffen befestigt sind, vollständig bedeckt. Dadurch bildet die Kugel mit den beiden Halbkugeln einen einzigen Leiter und die Elektricität kann nach unserem Satze nicht auf A bleiben, sondern muss auf die Oberfläche von B und C gehen. In der That, wenn man die Halbkugeln nun wieder abnimmt, zeigt sich A vollkommen unelektrisch, während B und C elektrisch sind.

Fig. 5.



Ein jeder elektrisirte Leiter besitzt in seiner ganzen Ausdehnung dasselbe Potential. Je mehr Elektricität er enthält, desto grösser ist sein Potential. Es besteht also ein bestimmter Zusammenhang für jeden Leiter zwischen der Elektricitätsmenge, die er enthält, und dem Potential, auf dem er sich befindet. Beide wachsen zu gleicher Zeit und nehmen zu gleicher Zeit ab. Das Verhältniss der Elektricitäts-

menge eines Leiters zu seinem Potential ist also eine Grösse, die nur von der Gestalt und Grösse des Leiters abhängt, aber nicht von seiner Ladung und seinem Potential. Man nennt dieses Verhältniss die Capacität des Leiters. Die Capacität eines Leiters (die nur von seiner Grösse und Gestalt und, wie wir später bei der Betrachtung der Influenz sehen werden, auch von der Anwesenheit influenzirender Körper abhängt) giebt also an, in welchem Verhältniss stets die Elektricitätsmenge des Leiters zu seinem Potential steht. Es ist die

$$\text{Capacität} = \frac{\text{Elektricitätsmenge}}{\text{Potential}}.$$

Man kann bei vielen Körpern die Capacität aus ihren Dimensionen berechnen, bei anderen sie leicht durch Versuche bestimmen, wie wir später sehen werden. Kennt man nun die Capacität eines Körpers und weiss man, wie viel Elektricität er enthält, so weiss man auch, auf welchem Potential er ist, denn es ist sein

$$\text{Potential} = \frac{\text{Elektricitätsmenge}}{\text{Capacität}}.$$

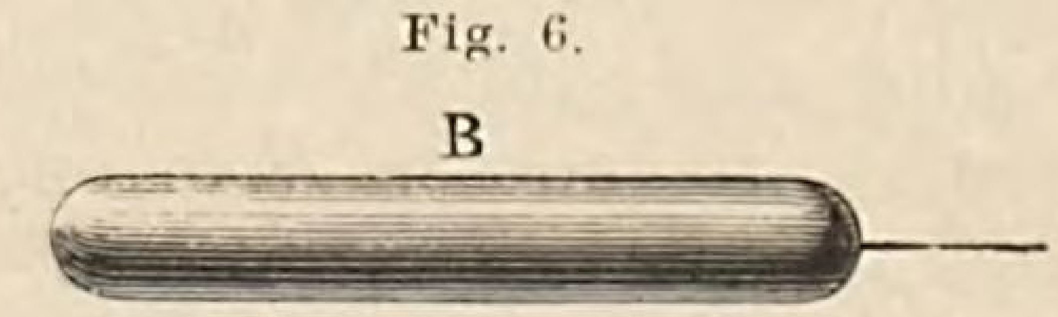
Und umgekehrt, kennt man die Capacität und das Potential, so weiss man auch, wie gross die Elektricitätsmenge auf dem Körper ist.

Die gesammte einem Leiter zugeführte Elektricitätsmenge muss sich nach dem Obigen auf der Oberfläche vertheilen und zwar so, dass alle Kräfte an jedem Punkte sich das Gleichgewicht halten, d. h. dass das Potential überall auf und in dem Leiter dasselbe ist. Wenn das der Fall sein soll, so kann durchaus nicht auf jeder gleichgrossen Stelle der Oberfläche, z. B. auf jedem Quadratcentimeter, die gleiche Elektricitätsmenge vorhanden sein. Vielmehr wird an den verschiedenen gleichgrossen Stellen der Oberfläche die Elektricitätsmenge verschieden sein, je nach der Gestalt der Oberfläche. Man nennt die Menge der Elektricität, welche auf der Einheit der Oberfläche, also etwa auf einem Quadratcentimeter ist, die Dichtigkeit der Elektricität an dieser Stelle. Man kann also sagen, auf einem beliebig geformten elektrisirten Leiter ist das Potential zwar überall dasselbe, aber die Dichtigkeit der Elektricität im Allgemeinen von Punkt zu Punkt verschieden. Führt man einer isolirten Kugel Elektricität durch Berührung oder durch Reibung zu, so wird sich diese auch auf der ganzen Oberfläche der Kugel verbreiten, und weil die Kugel der einzige vollkommen regelmässige Körper ist, weil jeder Theil der Oberfläche auf ihr ganz gleichwerthig ist, so wird sich auf einer Kugel die Elektricität gleichmässig vertheilen, d. h. die elektrische Dichtigkeit wird hier überall, an allen Punkten der Kugel dieselbe sein. Das ist aber nur ein ganz besonderer Specialfall. Auf einem Cylinder z. B. oder auf einer Halbkugel ist die elektrische Dichtigkeit im Allgemeinen von Punkt zu Punkt verschieden. Es ist eine rein mathematische Aufgabe zu bestimmen, wie gross die Dichtigkeit der Elektricität an jedem Punkte der Oberfläche eines beliebig gestalteten Leiters ist, falls die Elektricität in Ruhe, also das Potential überall dasselbe ist. Diese Aufgabe ist für eine Anzahl von Leiterformen gelöst und zwar für diejenigen, die ein besonderes praktisches, experimentelles Interesse darbieten.

Die mathematische Lösung, ebenso wie das Experiment zeigen nun, dass wenn ein Leiter in eine Spitze ausläuft, dass dann an dieser Spitze die Dichtigkeit der Elektricität eine ausserordentlich grosse ist, eine ganz bedeutend grössere als an jedem anderen Punkte des Leiters. Es kann die gesammte Elektricitätsmenge auf dem Leiter eine sehr kleine sein, trotzdem ist die Dichtigkeit der Elektricität auf einer leitenden Spitze eine sehr grosse. Diese Eigenschaft der Spitzen zieht eine Reihe von wichtigen Folgen nach sich.

In jedem Leiter wird die Elektricität durch die gegenseitigen Kräfte ganz an die Oberfläche getrieben. Diese Kräfte würden aber noch weiter verlangen, dass die Elektricität gar nicht an der Oberfläche des Leiters bleibt. Sie würden bewirken wollen, dass die Elektricität überhaupt vom Leiter fortgeht. An jedem Punkte der Oberfläche wirkt also auf die Elektricität eine Kraft, welche sie senkrecht zur Oberfläche forttreiben möchte. In der That würde auch die Elektricität dieser Kraft folgen, wenn nicht an die Oberfläche des Leiters Isolatoren, Glas, Siegellack, Luft u. s. w. grenzten, welche dem Eindringen der Elektricität in sie einen ausserordentlich grossen Widerstand leisten. Jedenfalls aber hat die Elektricität das Bestreben, von der Oberfläche der Leiter zu entweichen, sie wird nur durch den Widerstand der angrenzenden Isolatoren an dieser Flucht gehindert. Die Kraft nun, welche auf die Elektricität an der Oberfläche eines Leiters wirkt und sie nach aussen treiben möchte, ist nicht an allen Punkten der Oberfläche dieselbe, denn sie hängt davon ab, wie gross die Dichtigkeit der Elektricität an dem betreffenden Punkte der Oberfläche ist. Je grösser die Dichtigkeit der Elektricität an einem Punkte ist, desto grösser ist die Kraft, die auf sie in diesem Punkte wirkt. Nun haben wir gesehen, dass, wenn ein Leiter eine Spitze hat, die Dichtigkeit der Elektricität an dieser Spitze eine ausserordentlich grosse ist. Mithin ist auch die Kraft, die die Elektricität an einer Spitze nach aussen treiben möchte, eine ausserordentlich grosse. Wenn nun der angrenzende Isolator, z. B. die Luft, absolut isolirte, also dem Durchgang der Elektricität einen vollkommenen Widerstand entgegensetzte, so würde die Elektricität doch an der Spitze bleiben. Wir haben aber gesehen, dass der Widerstand eines Isolators, wenn er auch sehr gross ist, doch eine Grenze hat. Und daraus folgt, dass die Elektricität an einer Spitze eines Leiters trotz des Widerstandes des angrenzenden Isolators nach aussen getrieben wird. Dies ist nun in der That der Fall, wie man leicht durch den Versuch beweisen kann. Man nehme einen isolirten Leiter, etwa den Cylinder mit abgerundeten Ecken B (Fig. 6) und lade ihn durch eine Elektrisirmaschine. Befestigt man an eine oder mehrere Stellen des Cylinders Streifchen von Blattgold, so divergiren diese bei der Ladung und die Grösse ihrer Divergenz lässt die grössere oder geringere Elektricitätsmenge an ihren Berührungsstellen erkennen. Sowie man nun an den geladenen isolirten Leiter eine Spitze ansetzt, so nimmt die Divergenz der Goldblättchen sofort ab und dies beweist,

Fig. 6.



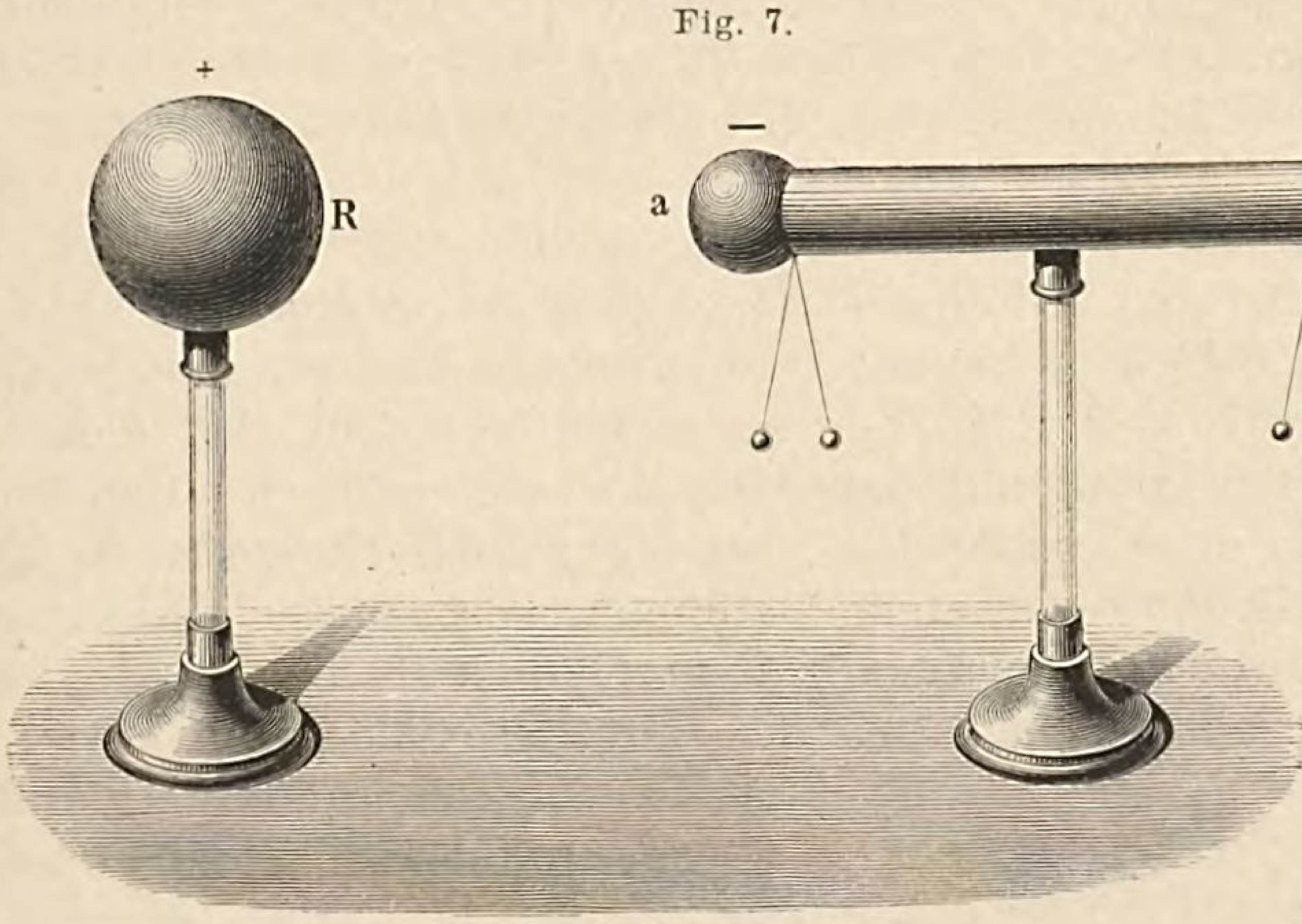
dass durch die Spitze Elektricität in die Luft ausgeströmt ist. Allgemein folgt aus diesen Ueberlegungen und Thatsachen, dass man einen mit einer Spitze versehenen Leiter nicht so stark laden kann, wie wenn die Spitze nicht vorhanden wäre. Aber man erkennt noch mehr daraus. Ein jeder Leiter kann nicht beliebig stark geladen werden. Denn wenn man die Ladung immer mehr vergrössert, so werden die Dichtigkeiten, also auch die Kräfte, die die Elektricität nach aussen treiben, immer grösser, und endlich wird an der Stelle des Leiters, an der die Dichtigkeit den grössten Werth hat, diese Kraft so gross, dass sie den Widerstand der Luft oder eines anderen Isolators überwindet. Dann strömt alle neu zugeführte Elektricität von dem Leiter fort. Der Leiter lässt sich also nur bis zu einer gewissen Grenze laden, und diese Grenze hängt ab von der Gestalt des Leiters und von der Natur des umgebenden Isolators. Je geringer die Isolationsfähigkeit des umgebenden Mediums ist, um so geringer kann die Elektricitätsmenge sein, die man dem Leiter zuführen kann.

Wir konnten bis nun einen Körper durch zwei Mittel elektrisch machen, erstens durch Reiben und zweitens durch Berühren mit einem elektrisirten Körper. Ein auf eine von diesen beiden Arten elektrisirter Körper behält seine Elektricität, wenn er vollkommen isolirt werden kann, stets; wenn das nicht der Fall ist, behält er sie doch wenigstens eine gewisse lange Zeit, bis die Isolation nicht mehr ausreicht. Ferner war, wenn wir einen isolirten Leiter z. B. durch Berührung mit einer geriebenen Glasstange positiv elektrisch gemacht hatten, auf allen Punkten des Leiters positive Elektricität vorhanden. Führten wir dem Leiter eine gewisse Menge negativer Elektricität zu, so zerstörte diese eine gleich grosse Menge der positiven Elektricität, und je nachdem die positive oder die negative Elektricität in grösserer Menge vorhanden war, blieb der Leiter positiv oder wurde negativ elektrisch. Immer aber war nur Elektricität von *einer* Art auf dem Leiter. Wir können aber einen Körper auch auf eine dritte Art und Weise elektrisch machen, und zwar in einer von der bisher betrachteten erheblich abweichenden Form.

Wenn man ein Goldblattelektroskop aufstellt und eine geriebene Glasstange in die Nähe des Knopfes desselben bringt, so fangen die Goldblättchen schon an zu divergiren, *ehe* noch der Glasstab den Knopf berührt hat. Hält man den Glasstab in einiger Entfernung von dem Knopf des Elektroskops, so gehen die Goldblättchen auseinander und bleiben so lange divergent, als der Stab in der Nähe gehalten wird. Sowie man den Glasstab fortnimmt, fallen die Goldblättchen wieder zusammen. Die Elektricität auf dem Glasstab hat also, wie man daraus sieht, die Eigenschaft, *durch ihre blosse Nähe* auf leitenden Körpern den elektrischen Zustand hervorzurufen, oder mit anderen Worten, man kann auf einem leitenden Körper Elektricität hervorbringen, wenn man nur einen elektrischen Körper in seine Nähe bringt. Man bezeichnet diese Wirkung mit den Namen *Influenz*. Man sagt, der elektrisirte Körper *influenzire* auf dem in der Nähe befindlichen Leiter Elektricität, man nennt auch die auf diesem hervorgerufene Elektricität *Influenzelektricität*.

Einen Unterschied kann man sofort zwischen dem Verhalten eines influenzirten Leiters und eines auf andere Weise elektrisirten erkennen. Die Influenzelektricität bleibt auf einem isolirten Leiter nur so lange, als der elektrisirte influenzirende Körper in der Nähe ist. Wird dieser fortgenommen oder wird ihm seine Elektricität auf irgend eine Weise entzogen, so verschwindet auch sofort die Influenzelektricität auf dem influenzirten Leiter. Untersucht man weiter einen influenzirten Leiter darauf hin, von welcher Art die Elektricität ist, die auf ihm durch Influenz entwickelt ist, so findet man, dass er nicht nur eine Art Elektricität enthält, sondern dass auf seiner Oberfläche beide Arten Elektricität getrennt vorhanden sind, die positive und die negative. Ein Theil der Oberfläche ist positiv elektrisch, der andere negativ elektrisch, und zwar haben die Theile der Oberfläche, welche am nächsten an dem influenzirenden Körper sich befinden, immer die entgegengesetzte Art der Elektricität wie dieser, während die entfernteren Theile dieselbe Art der Elektricität enthalten. Es sei z. B. in Fig. 7 R eine positiv elektrische Glaskugel. Bringt man

Fig. 7.



in ihre Nähe den isolirten Leiter a b, so entsteht auf diesem Influenzelektricität, und zwar wird der links liegende Theil a negativ elektrisch, während der rechts liegende Theil b positiv elektrisch ist. Wenn die Kugel R negativ elektrisch wäre, so würde auch die Vertheilung der Elektricität auf a b die umgekehrte sein. Man bezeichnet die Elektricität auf a, also auf den dem Körper R am nächsten liegenden Theilen, als Influenzelektricität erster Art, die auf b als Influenzelektricität zweiter Art. Je mehr man von a aus nach der Mitte geht, desto mehr nimmt die Dichtigkeit der negativen Elektricität ab, je mehr man von b nach der Mitte geht, desto mehr nimmt die Dichtigkeit der positiven Elektricität ab. Die Mitte selbst ist unelektrisch. Man nennt die unelektrische Stelle die Indifferenzzone. Es sieht so aus, als ob durch die Annäherung des Körpers R in dem Leiter a b beide Elektricitäten sich entwickelt hätten und die ungleichnamige Elektricität von R nach a hin angezogen, die gleich-

namige nach b hin abgestossen worden wäre. Doch ist diese Vorstellung eine solche, wie sie dem wirklichen Vorgang jedenfalls nicht entspricht.

Wie stets bei elektrischem Gleichgewicht muss auch hier das Potential aller Kräfte auf dem Leiter a b überall dasselbe sein. Das Potential rührt aber her theils von den Kräften, die von R ausgehen, theils von den Kräften der elektrischen Theilchen auf a b selbst.

Legt man an das Ende b des Cylinders a b einen leitenden Draht an, der mit der Erde in Verbindung ist, so ist jetzt der Cylinder auf dem Potential Null. Durch die Influenz des positiven Körpers R wird nun wieder die ungleichnamige negative Elektricität nach a hingezogen, die positive nach b und dem Draht abgestossen. Die positive Elektricität fliesst also zur Erde ab. Hebt man nun die Verbindung mit der Erde auf, isolirt man also den Leiter wieder, so bleibt auf a b nur negative Elektricität übrig. *Man kann also die Influenzelektricität zweiter Art zur Erde ableiten.*

Legt man den Draht dagegen an das Ende a des Cylinders an, so wird in dem Draht ebenfalls negative Elektricität influenzirt und wenn man ihn entfernt, so bleibt immer die negative Elektricität auf dem Leiter. Man kann also die *Influenzelektricität erster Art nicht zur Erde ableiten.*

Da man die Influenzelektricität zweiter Art zur Erde ableiten kann, so bleibt also auf einem influenzirten, erst abgeleiteten und dann wieder isolirten Körper nur die Influenzelektricität der ersten Art übrig. So lange der Körper R in der Nähe ist, vertheilt sich diese mit abnehmender Dichtigkeit auf dem Cylinder von a nach b hin. Entfernt man aber nun den Körper R, so ist gar kein Grund mehr für diese abnorme Vertheilung vorhanden, vielmehr vertheilt sich die (in unserem Falle negative) Elektricität auf dem Cylinder a b so, wie es seiner Gestalt entspricht. Wir haben also auf diese Weise ein Mittel erlangt, einem Körper durch Influenz bleibend Elektricität *einer* Art mitzutheilen. Wir erzeugen zuerst durch Influenz mittelst eines angenäherten Körpers beide Arten Elektricität auf ihm, entfernen dann die zweiter Art (die gleichnamige), indem wir den Körper zur Erde ableiten, und behalten so blos die Elektricität erster Art, die ungleichnamige, zurück. Nach Entfernung des influenzirenden Körpers vertheilt sich diese auf dem influenzirten in der gehörigen Weise.

Wir müssen aber die Verhältnisse noch etwas eingehender untersuchen, die sich bei der Influenzirung ergeben. Da auch bei der durch Influenz erzeugten Elektricität ein Leiter überall dasselbe Potential haben muss, wenn die Elektricität in Ruhe sein soll, so können auch hier die Elektricitäten sich nur auf der Oberfläche befinden. *Es wird nun, wie durch Versuche nachgewiesen wurde, auf jedem isolirten influenzirten Leiter immer eine gleich grosse Menge positiver, wie negativer Elektricität erzeugt.* Wie muss nun die Elektricität auf dem influenzirten Körper vertheilt sein, damit Gleichgewicht stattfindet? Diese Frage beantwortet sich leicht. Das Potential muss in allen Punkten des Leiters dasselbe sein, d. h. alle Kräfte, die auf die Elektricität in einem Punkte wirken, müssen sich aufheben,

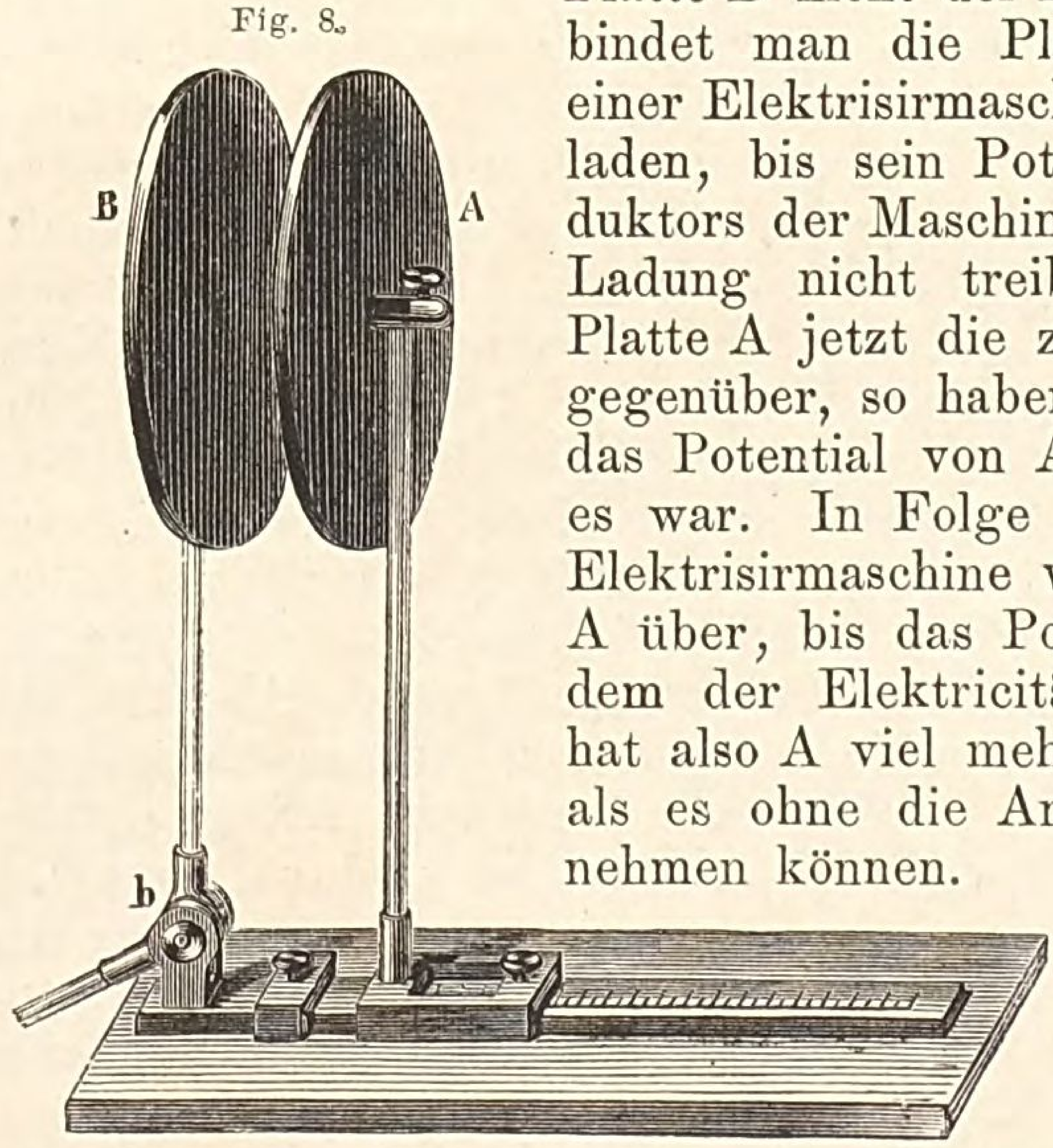
so dass keine Verschiebung mehr in der Oberfläche stattfinden kann. Die Dichtigkeit der Elektricität auf jedem Punkte der Oberfläche muss also eine solche werden, dass alle Kräfte, die auf diesen Punkt wirken, sich aufheben. Wir hatten angenommen, dass der influenzirende Körper R ein elektrisirter Isolator ist, eine Glaskugel z. B., auf welcher die Elektricität sich nicht verschieben kann. Nimmt man als influenzirenden Körper einen geladenen Leiter, der natürlich isolirt sein muss, also z. B. eine elektrisirte Metallkugel, so ist der Vorgang, der nun stattfinden wird, ein etwas verwickelterer, aber auch noch leicht zu übersehen. Die geladene Metallkugel R influenzirt auf dem Cylinder a b (Fig. 7) positive und negative Elektricität, sie zieht die ungleichnamige nach a, stösst die gleichnamige nach b. Aber auch auf der Metallkugel R wird die Elektricität verschoben. Die von a b ausgehenden Kräfte wirken auf die Elektricität in R so, dass diese sich so lange verschieben muss, bis an jedem Punkt sich alle Kräfte aufheben. Es wird dadurch auch in den Punkten der Kugel R die Dichtigkeit nicht mehr dieselbe sein wie früher, sondern eine andere. Durch die Anwesenheit des influenzirten Körpers wird die Dichtigkeit der Elektricität in jedem Punkte geändert. Wir können auch sofort noch einen viel wichtigeren Schluss ziehen. Wir können schliessen, dass das Potential von R kleiner werden muss, als früher. Denn das Potential von R ist ja die Arbeit, welche nöthig ist, um ein Elektricitätstheilchen, 1 Coulomb, aus der Unendlichkeit auf die Kugel R zu bringen, entgegen allen Kräften, die von den elektrisirten Körpern ausgehen. Ist die Kugel R allein da, so sind diese Kräfte die abstossenden Kräfte der Kugel R allein. Ist aber der influenzirte Körper a b in der Nähe, so kommen noch die Kräfte hinzu, welche die auf diesem befindlichen Elektricitäten ausüben. Wenn a b isolirt ist, also beide Arten Elektricität enthält, so sind das sowohl anziehende wie abstossende Kräfte. Aber da die negative Elektricität näher an R ist, als die positive, so überwiegen die Anziehungskräfte. Es ist folglich eine geringere Arbeit nöthig, um 1 Coulomb auf den Körper R zu bringen, d. h. das Potential der Kugel R ist kleiner, wenn der influenzirte Körper in der Nähe ist. Ist dieser Körper gar zur Erde abgeleitet, ist also auf ihm nur negative Elektricität vorhanden, so ist das Potential von R viel kleiner als früher. Also: Wenn einem geladenen Leiter ein anderer in die Nähe gebracht wird, der zur Erde abgeleitet ist, so verringert sich das Potential des ersten bedeutend. Wir werden davon sofort eine wichtige Anwendung machen.

Verbindet man einen Leiter mit einer Elektricitätsquelle, z. B. mit dem einen Conduktor einer Elektrisirmaschine, so fliesst auf ihn Elektricität über, so lange, bis sein Potential gleich dem des Conduktors der Maschine geworden ist. Dann ist Gleichgewicht vorhanden. Der Leiter kann also nur eine bestimmte Menge Elektricität aufnehmen und diese Menge hängt ab von seiner Form und Grösse. Je grösser der Leiter ist, um so mehr Elektricität geht auf ihn über, bis sein Potential den höchsten Werth erreicht hat, d. h. hier den Werth des Potentials der Elektricitätsquelle. Das Verhältniss der Elektricitäts-

menge eines Leiters zu seinem Potential ist ja bekanntlich die Capacität des Leiters. Wird nun dem Leiter ein anderer, zur Erde abgeleiteter, in die Nähe gebracht, so wird, wie wir gesehen haben, sein Potential kleiner. Es kann also von Neuem Elektricität von dem Conduktor zu ihm überfliessen, bis die Potentiale wieder gleich geworden sind. Der Leiter enthält also bei demselben Potential jetzt mehr Elektricität wie früher. Durch die Anwesenheit des influenzirten Körpers ist also seine Capacität vergrössert worden.

Diese Möglichkeit, die Capacität und dadurch die Ladung eines Leiters zu vergrössern, ist auf mehrfache Weise benützt worden. Man hat schon im vorigen Jahrhundert einen Apparat construirt, den Ansammlungsapparat, welcher in einer einfachen Form in Fig. 8 abgebildet ist. Er besteht aus zwei isolirten Metallplatten A und B, die einander grade gegenübergestellt werden können, so dass sie auf einander influenzirend wirken können. Die Platte B kann durch ein drehbares Gelenk nach unten zurückgeschlagen werden. Steht die Platte B nicht der Platte A gegenüber und verbindet man die Platte A mit dem Conduktor einer Elektrisirmaschine, so wird A so lange geladen, bis sein Potential gleich dem des Conduktors der Maschine ist. Weiter lässt sich die Ladung nicht treiben. Stellt man aber der Platte A jetzt die zur Erde abgeleitete Platte B gegenüber, so haben wir gesehen, dass dadurch das Potential von A erheblich kleiner wird als es war. In Folge dessen fliesst jetzt von der Elektrisirmaschine wieder neue Elektricität auf A über, bis das Potential von A wieder gleich dem der Elektricitätsquelle geworden ist. Es hat also A viel mehr Elektricität aufgenommen, als es ohne die Anwesenheit von B hätte aufnehmen können.

Fig. 8.

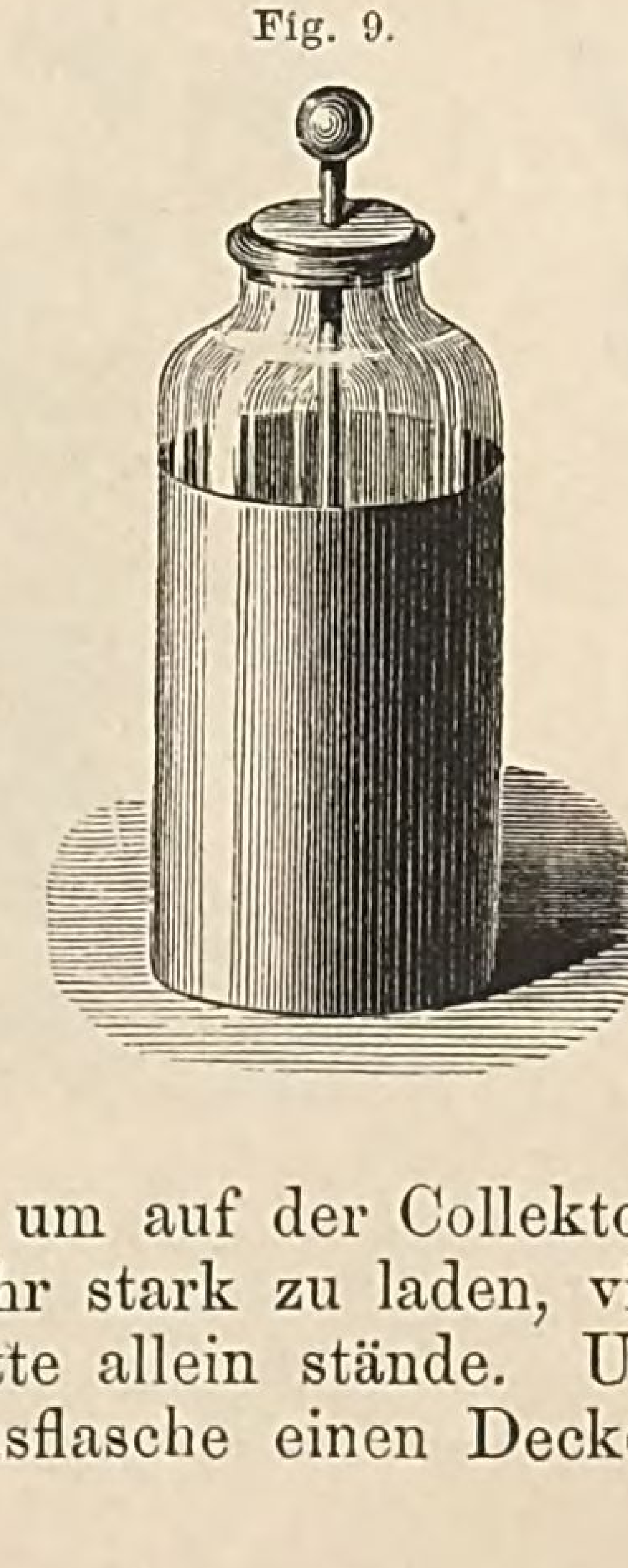


Man nennt die Platte A die Collektorplatte, die Platte B die Condensatorplatte. Die Collektorplatte kann also eine grössere Elektricitätsmenge aufnehmen, wenn die Condensatorplatte ihr gegenübersteht, als wenn sie allein steht. Die Capacität der Collektorplatte ist eine viel grössere, wenn ihr die zur Erde abgeleitete Condensatorplatte gegenübersteht, als wenn sie allein vorhanden ist. Das Verhältniss dieser beiden Capacitäten nennt man die Verstärkungszahl des Ansammlungsapparates.

Die Verstärkungszahl eines Ansammlungsapparates hängt von verschiedenen Umständen ab. Sie hängt ab von der Form und Grösse der leitenden Körper, also in unserem Falle der Platten; sie hängt wesentlich davon ab, in welcher Entfernung die beiden Platten einander gegenüberstehen. Die Verstärkungszahl ist um so grösser, je

geringer diese Entfernung. Endlich hängt, wie Faraday gezeigt hat, die Verstärkungszahl auch wesentlich davon ab, welches das isolirende Medium zwischen den beiden Platten ist. Wir haben stillschweigend angenommen, dass zwischen den beiden Platten sich Luft befindet. Ist aber das isolirende Medium nicht Luft, sondern ein anderer Isolator, Glas, Kautschuk, Schwefel u. s. f., so ist die Verstärkungszahl eine andere. Die Isolatoren haben also nicht blos die Rolle, die Elektricität auf den Leitern festzuhalten, sondern sie haben auch selbst einen wesentlichen Einfluss auf die elektrische Vertheilung. Man bezeichnet deshalb einen Isolator auch als Dielektricum. Diese beiden Bezeichnungen bedeuten dasselbe. Das eine Mal hebt man nur die Fähigkeit zu isoliren hervor, das andere Mal die Fähigkeit, auf die Vertheilung einen Einfluss zu üben. Die festen Isolatoren, Glas, Kautschuk, Schellack u. s. w., machen unter sonst gleichen Umständen die Verstärkungszahl grösser als die Luft. Ausserdem haben sie noch einen weiteren Vortheil. An den beiden einander gegenüberstehenden Seiten eines Ansammlungsapparates befinden sich Elektricitäten von entgegengesetzter Art und zwar in grosser Dichte. Je dichter nun die Elektricität an einer Stelle ist, desto grösser ist, wie wir wissen, die Kraft, welche sie nach aussen treibt. Die beiden entgegengesetzten Elektricitäten auf den beiden Platten können also den Widerstand der Luft überwinden und sich in Form eines elektrischen Funkens ausgleichen. Die Anhäufung der Elektricität wird dadurch illusorisch gemacht. Ist aber das Dielektricum ein fester Körper, wie Glas, so ist der Widerstand, der dem Ausgleich der Elektricitäten entgegengesetzt wird, ein viel grösserer, diese können sich im Allgemeinen nicht gewaltsam ausgleichen, sondern bleiben auf den beiden Leiterflächen. Will man deshalb einen Ansammlungsapparat stark laden, so muss man als isolirende Zwischenschicht, als Dielektricum, einen festen Körper, am besten Glas nehmen.

Fig. 9.



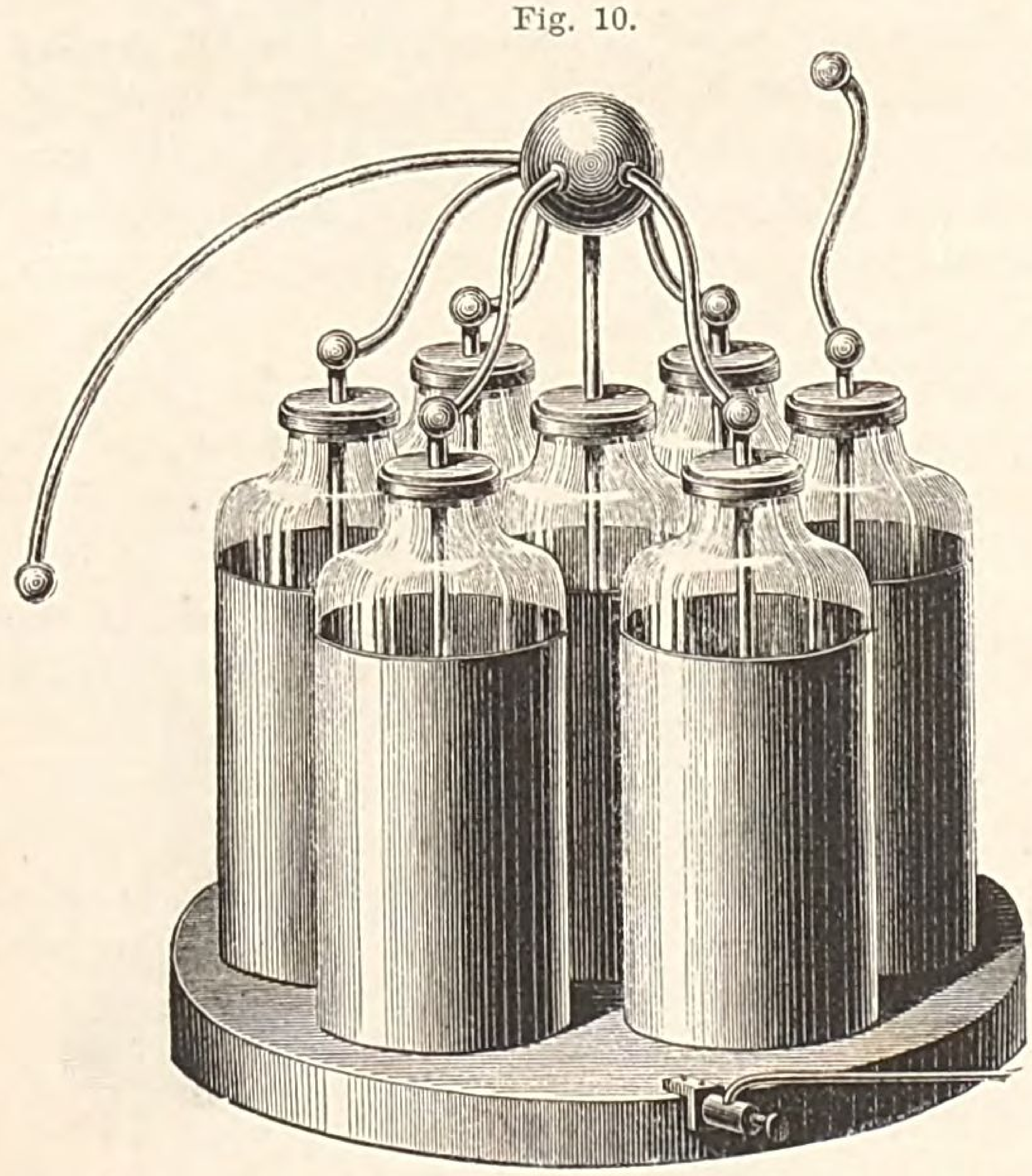
Die zweckmässigste und am meisten benützte Form für einen solchen Ladungs- oder Ansammlungsapparat ist die der Leydener Flasche, deren Princip nach dem Gesagten sofort zu übersehen ist. Sie besteht (Fig. 9) aus einer Flasche aus Glas in Form der gewöhnlichen Einlegegläser. Dieses Glas ist aussen und innen bis zu etwa $^2/_3$ seiner Höhe mit Stanniolpapier, einem leitenden Körper, beklebt. Diese beiden Stanniolpapierplatten vertreten die Stelle unserer Platten A und B in Fig. 8. Das Glas ist das Dielektricum. Man braucht nun blos die eine Platte als Collektorplatte mit einer Elektrisirmaschine, die andere mit der Erde in leitende Verbindung zu setzen, um auf der Collektorplatte sehr viel Elektricität aufzuhäufen, sie sehr stark zu laden, viel stärker als es möglich wäre, wenn diese Platte allein stände. Um diese Verbindungen herzustellen, trägt die Glasflasche einen Deckel,

durch welchen ein metallener Stab mit einem Knopf gesteckt ist. Der Metallstab berührt die innere Stanniolplatte, oder, wie man sagt, die innere Belegung.

Nun braucht man blos den Knopf dieses Stabes mit dem Conduktor einer Elektrisirmaschine in leitende Verbindung zu setzen, etwa indem man einen Metalldraht an beiden befestigt, und braucht blos die äussere Belegung, die äussere Stanniolplatte, mit der Erde in Verbindung zu bringen, indem man sie etwa auf einen leitenden Tisch setzt, und kann so die Flasche durch Drehen der Elektrisirmaschine sehr stark laden. Hat man den Knopf der Flasche mit dem positiven Conduktor der Elektrisirmaschine in Verbindung gesetzt, so wird die innere Belegung positiv elektrisch, die äussere negativ elektrisch, da die Influenzelektricität der zweiten Art zur Erde abgeleitet wird. Ist der Knopf mit dem negativen Conduktor in Verbindung, so sind die Ladungen der beiden Platten die entgegengesetzten.

Die Elektricitätsmenge, die eine Flasche aufnehmen kann, ist um so grösser, je grösser die Verstärkungszahl der Flasche ist und je grösser die Stanniolplatten sind. Die Verstärkungszahl wird um so grösser, je geringer die Entfernung der Stanniolplatten ist, also je dünner das Glas der Flasche ist. Dabei kann man aber nur bis zu einer gewissen Grenze gehen. Denn wenn das Glas zu dünn ist, so leistet es der gewaltsamen Vereinigung der beiden Elektricitäten, von der wir gesprochen haben, nicht mehr den nöthigen Widerstand, es wird von dem elektrischen Funken durchbrochen.

Fig. 10.

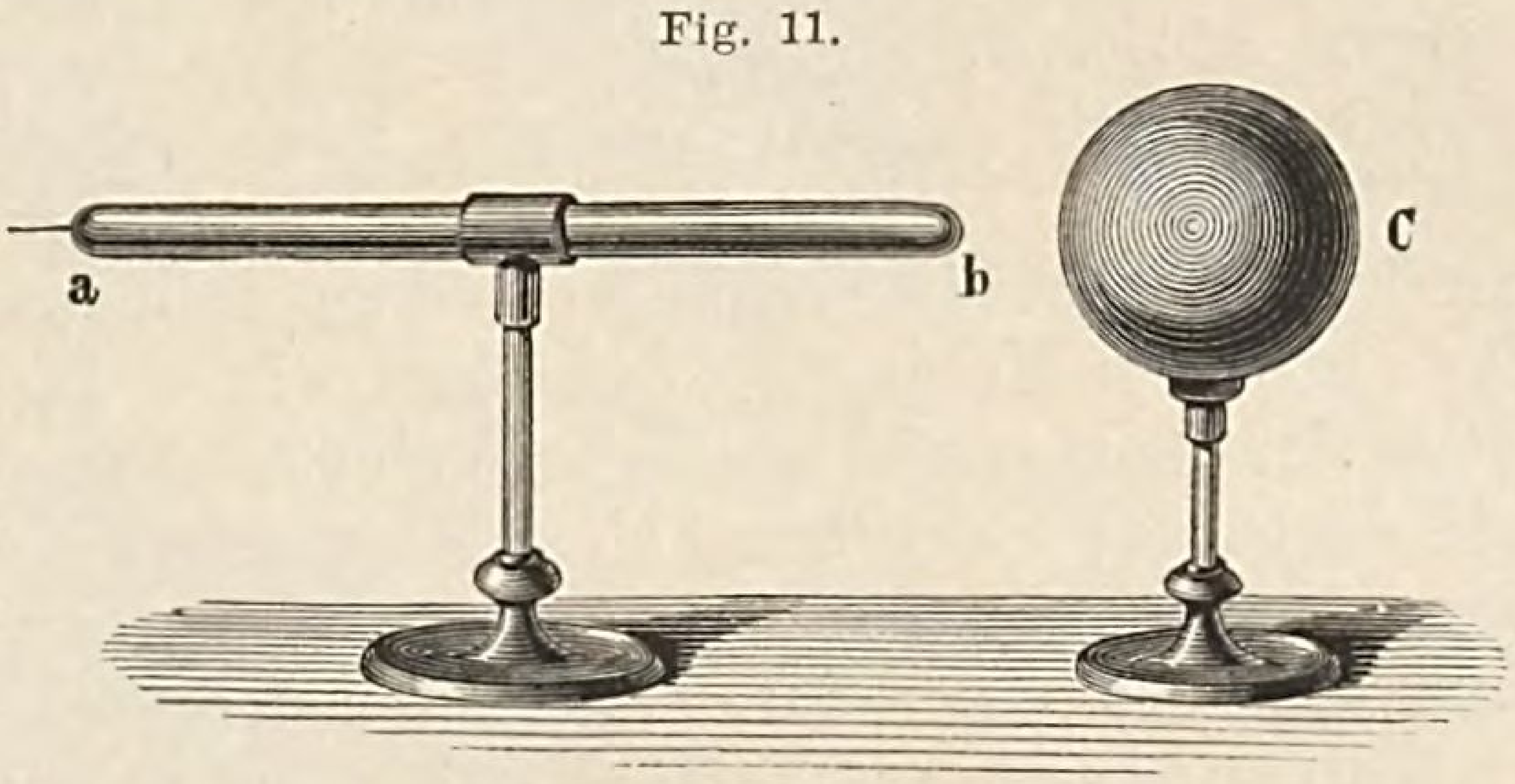


Um also sehr viel Elektricität anzusammeln, bleibt nichts übrig, als die Belegungen sehr gross zu machen. Das kann man aber einfacher erreichen, wenn man nicht eine, sondern mehrere Flaschen nimmt. Wenn man eine Reihe von Leydener Flaschen nimmt und alle inneren Belegungen mit einander verbindet, während man alle äusseren zur Erde ableitet, so entspricht dieses System einer einzigen Flasche von einer sehr grossen inneren Belegung. Alle inneren Stanniolplatten bilden zusammen eine grosse Stanniolplatte. Man kann also, was eigentlich selbstverständlich ist, in einer Batterie von 7 Leydener Flaschen, deren innere Belegungen alle leitend verbunden sind, 7mal so viel Elektricität anhäufen, als in einer

einzigen. Eine sehr bequeme Form einer solchen Batterie hat **Riess** angegeben (Fig. 10). Sechs Flaschen stehen im Kreise um eine siebente herum. Die letztere hat als Knopf eine grosse Kugel mit 6 Löchern. In diese Löcher passen die Knöpfe von Metallstäben hinein, welche an den Knöpfen der 6 einzelnen Flaschen drehbar befestigt sind. Sind alle Knöpfe in den Löchern, so sind die 7 inneren Belegungen mit einander verbunden. Man kann dann der Kugel durch eine Elektrisirmaschine so viel Elektricität zuführen, bis die ganze Batterie geladen ist. Die äusseren Belegungen stehen alle durch einen leitenden Tisch mit der Erde in Verbindung. Wenn man das Metallstück einer Flasche aus dem Loch herausnimmt, so schaltet man dadurch die betreffende Flasche aus der Batterie aus.

Zum Verständniss einiger Vorrichtungen, die im Folgenden besprochen werden sollen, müssen wir nun die Wirkung einer Spitze an einem influenzirten Leiter untersuchen. Enthält ein influenzirter Leiter a b (Fig. 11) eine Spitze an der Stelle a, welche von dem influenzirenden Körper C abgewendet ist, so wird auf der Spitze die Influenzelektricität zweiter Art erregt und nach dem, was wir früher über die Dichtigkeit auf einer Spitze gesagt haben, strömt diese Elektricität in den umgebenden Isolator, die Luft, aus. Der Leiter a b behält also die Influenzelektricität der ersten Art.

Fig. 11.



Ebenso hat, wenn die Spitze an der Stelle b angebracht ist, an welcher sich die Influenzelektricität der ersten Art sammelt, an ihr diese Elektricität die grösste Dichtigkeit. Sie strömt daher aus und es bleibt auf a b nur Influenzelektricität der zweiten Art übrig. Zugleich aber wird auch auf der Kugel C die Vertheilung der Elektricität eine andere, und zwar wird die Dichtigkeit am grössten an der Stelle der Kugel, welche der Spitze grade gegenüberliegt. Diese starke Erhöhung der Dichtigkeit bewirkt aber an der Kugel ebenso wie an der Spitze ein Ausströmen der Elektricität. Nimmt man nun die Spitze aus der Nähe von C fort, so enthält C weniger Elektricität als früher. Es sieht also so aus, als ob die Spitze aus dem Leiter C Elektricität herausgesaugt hätte. Man bezeichnet diese Wirkung der Spitzen auch als **Saugwirkung**, wobei aber natürlich an ein Saugen gar nicht zu denken ist. Eine Spitze, die einem elektrisirten Körper genähert wird, bewirkt also eine Verminderung der Elektricität auf diesem, während der mit der Spitze verbundene Leiter die gleichnamige Elektricität erhält. Hat man ferner einen mit einer Spitze versehenen elektrisirten Leiter und bringt man in dessen Nähe einen noch unelektrischen Leiter, so werden in diesem beide Elektricitäten durch Influenz erzeugt. Der Spitze gegenüber befindet sich die Elektricität der ersten Art, und zwar in so grosser Dichte, dass

sie ausströmt. Es bleibt also auf dem genäherten Leiter nur die Influenzelektricität der zweiten Art, die gleichnamige, übrig. Diese Wirkungen der Spitzen wurden bei der Reibungselektrisirmaschine, die wir oben beschrieben, benutzt. Dort war der Conduktor der Maschine mit einem Ring verbunden, an welchem Spitzen der rotirenden Glasscheibe gegenüberstanden. Durch diese Spitzen wird der Conduktor mit der Influenzelektricität zweiter Art geladen, also mit Elektricität derselben Art, welche auf der Glasscheibe durch Reiben entwickelt wird, mit positiver.

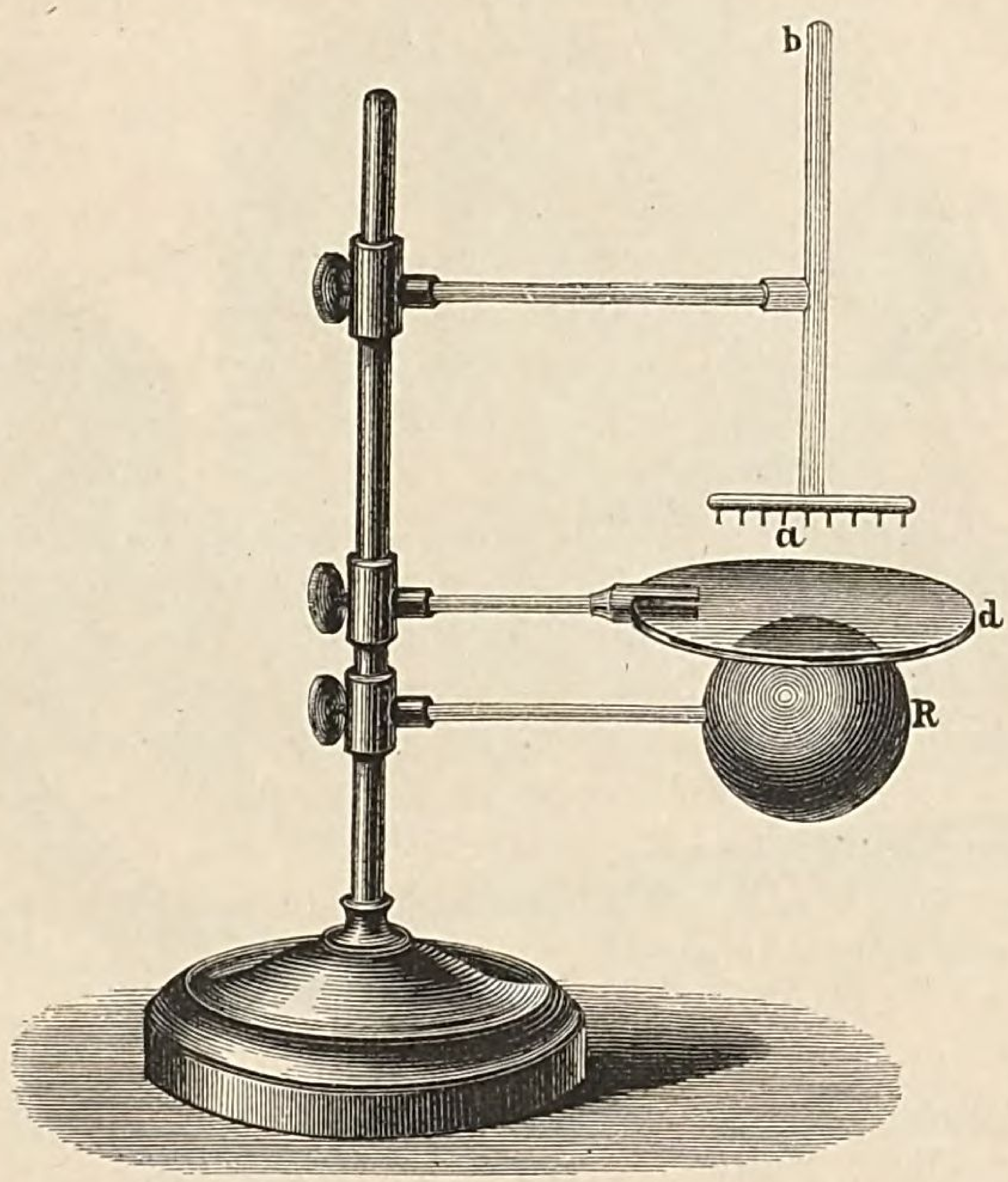
Unsere bisherigen Betrachtungen über die Influenz bezogen sich immer auf Leiter. In diesen können sich die Elektricitäten leicht verschieben, sie bieten also auch das geeignetste Material für die Wirkung der Influenz. Die Influenz findet aber nicht nur bei Leitern statt. Auch Isolatoren werden in der Nähe eines elektrischen Körpers influenzirt. Nur geht dieser Process bei ihnen nicht so momentan vor sich, wie bei Leitern. Es findet eine langsame Entwickelung der beiden Elektricitäten auf ihnen statt. Wird der influenzirende Körper entfernt, so vereinigen sich auch bei ihnen die beiden Elektricitäten nicht sofort, sondern auch dieser Vorgang findet nur allmählich statt. Man stellt sich den Vorgang so vor, als ob unter dem Einfluss der Kräfte, die von dem influenzirenden Körper ausgehen, die einzelnen Moleküle des Isolators, des Dielektricums, allmählich gewisse Lagenveränderungen erleiden, über deren specielle Natur man allerdings gar keine deutliche, begründete Vorstellung hat. Man drückt diese Vorstellung dadurch aus, dass man sagt, ein Isolator wird unter dem Einfluss eines influenzirenden Körpers polarisirt oder dielektrisch polarisirt. Hören die Kräfte auf zu wirken, so kommen nach dieser Vorstellung die Moleküle allmählich wieder in ihre normalen Lagen.

Ebenso wie man eine Maschine construiren konnte, welche durch Reibung grosse Mengen Elektricität entwickeln konnte, ebenso lag der Gedanke nahe, eine Maschine zu construiren, die durch Influenz Elektricität in grossen Mengen erzeugt. Eine solche Maschine, eine Influenzmaschine, wurde von Holtz in äusserst sinnreicher Weise construirt. Die Wirkungsweise dieser Maschine ist so complicirt, dass sie bis jetzt noch nicht bis ins Einzelne genügend erklärt werden konnte. Das Princip der Maschine ist das, dass man einem Theil derselben zuerst von aussen, etwa durch Berührung mit einem geladenen Körper, eine geringe Elektricitätsmenge mittheilt; diese Elektricität wirkt dann auf andere Theile der Maschine, Isolatoren und Leiter, influenzirend ein und die Einrichtung ist so getroffen, dass die durch Influenz erzeugte Elektricitätsmenge die ursprünglich mitgetheilte noch verstärkt. Ursache und Wirkung verstärken sich bei dieser Maschine fortwährend und so kommt sie zu einer sehr grossen Wirksamkeit.

Um das Spiel der Maschine zu verstehen, müssen wir untersuchen, welche Vorgänge stattfinden, wenn ein geladener Körper R (Fig. 12) zugleich auf einen Isolator, eine Glasscheibe, d und auf einen hinter dieser stehenden, mit Spitzen versehenen Leiter a b wirkt. Es wird sich zeigen, dass der Isolator dadurch auf beiden Seiten mit derselben

Elektricität geladen wird. Es enthalte der Leiter R positive Elektricität. Dann wird auf der Scheibe d die eine Seite negative Elektricität enthalten, nämlich diejenige, welche R gegenüberliegt. Die andere Seite wird zuerst positive Elektricität enthalten. Zugleich

Fig. 12.



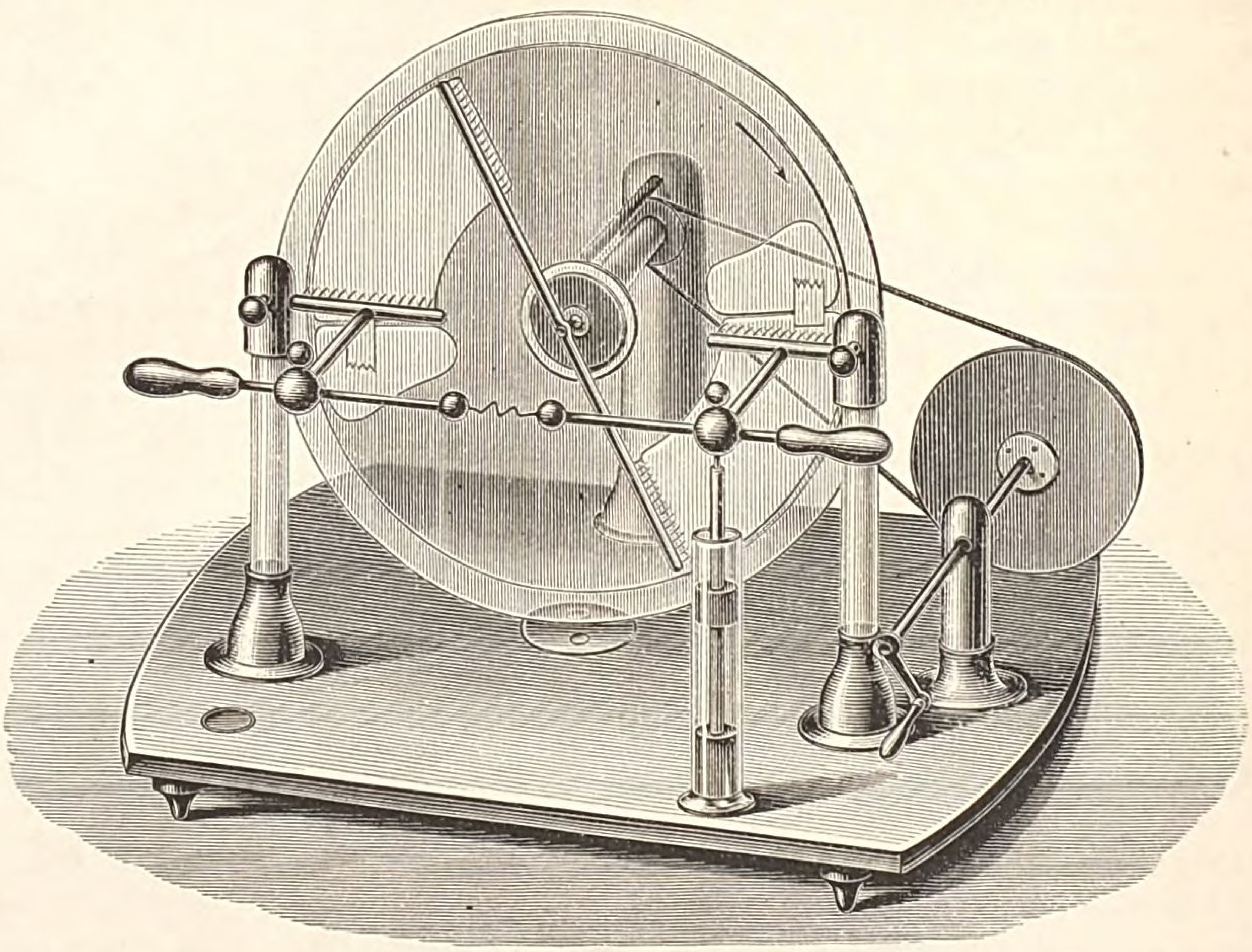
wird auch durch den Isolator hindurch der Leiter a b influenzirt und auf den Spitzen a erscheint negative Elektricität in sehr grosser Dichte. Diese strömt nun aus den Spitzen aus auf die obere Seite der Scheibe d und gleicht sich mit der positiven Elektricität in d aus. Da aber in dem Isolator die Influenz langsamer vor sich geht als in dem Leiter, so überwiegt die negative Elektricität aus den Spitzen und es wird dadurch auch die obere Seite der Glasscheibe mit negativer Elektricität geladen.

In der That also enthalten beide Seiten der Scheibe dieselbe Art der Elektricität und zwar die entgegengesetzte wie der influenzirende Körper.

Dies wird bei der Influenzmaschine von Holtz benutzt, welche in Fig. 13 abgebildet ist. Die Maschine enthält zwei gefirnisste Glasscheiben, eine feste und eine drehbare, welche nahe bei einander aufgestellt sind. Aus der festen Scheibe (in der Figur ist es die hintere, grössere) sind an zwei einander gegenüberliegenden Stellen Ausschnitte gemacht. An diese Ausschnitte anschliessend sind auf der Hinterseite der festen Scheibe Papiere geklebt, in Form von Sektoren mit etwa 60° Centriwinkel. Diese nennt man die Belegungen. Auf die Vorderseite der festen Scheibe sind auch Papierstreifen geklebt, die mit den Be-

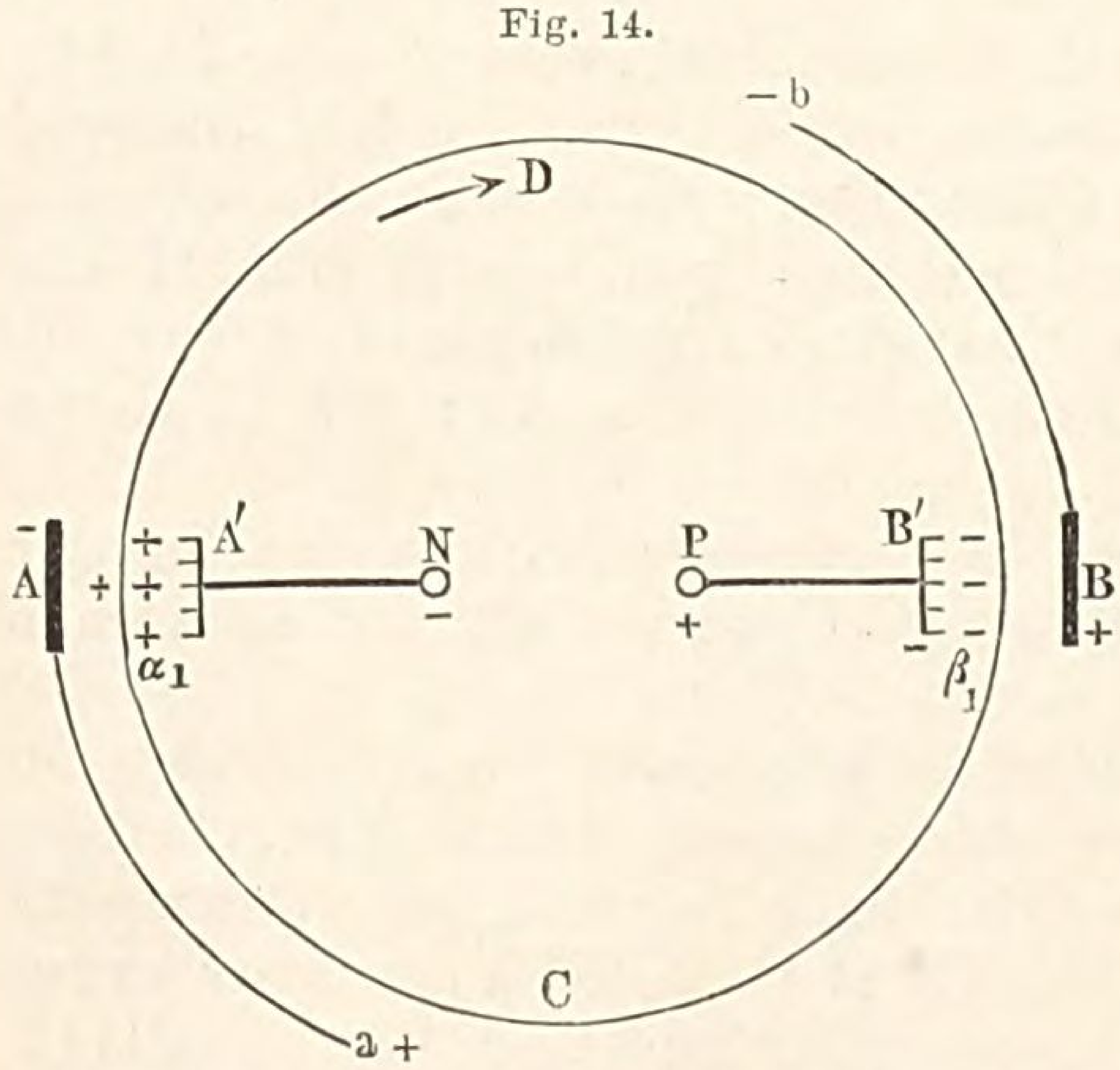
legungen der Hinterseite in Verbindung sind. Zugleich laufen diese Belegungen der Vorderseite in mehrere mit Stanniol überzogene

Fig. 13.



stumpfe Spitzen aus, welche etwas nach vorn, der drehbaren Scheibe zu, gebogen sind. Diese Spitzen befinden sich ungefähr in der Mitte der Ausschnitte. Gegenüber der anderen Seite der beweglichen Scheibe, der Vorderseite, sind zwei Kämme, mit Spitzen versehen, befestigt, welche, von einander und vom Boden isolirt, mit je einer Kugel verbunden sind. Die Kugeln, welche verschiebbar sind, werden erst zusammengeschoben, so dass sie sich berühren. Um die Maschine in Gang zu setzen, wird nun dem einen Papierbeleg etwas Elektricität mitgetheilt, indem man ihn z. B. mit einem geriebenen Ebonitstab berührt. Dann entwickeln sich die Elektricitäten so, wie es am besten aus der Fig. 14 erkannt werden kann. In dieser denken wir uns

Fig. 14.



die bewegliche Scheibe als Cylinder, dessen Durchschnitt der Kreis D sei. Ausserhalb dieses Cylinders seien die Papierbelege A und B mit ihren Stanniolspitzen a und b. Innen stehen diesem Cylinder die Metall-

kämme A′ und B′ mit ihren Kugeln N und P gegenüber, die wir erst zusammengeschoben annehmen wollen. Macht man den Papierbeleg A durch Berühren mit einem Ebonitstab negativ, so wird die bewegliche Scheibe, wie wir wissen, auf beiden Seiten positiv elektrisch. Zugleich geht die negative Elektricität von A′ über N und P nach B′. Von B′ strömt sie auf die eine Seite der beweglichen Glasscheibe; zugleich wird aber auch die gegenüberliegende Papierspitze influenzirt und zwar so, dass auch von dieser negative Elektricität auf die Glasscheibe strömt. Es ist also an dem ersten Papierbeleg A die bewegliche Scheibe auf beiden Seiten positiv, an dem anderen B negativ elektrisch. Nun wird die Scheibe gedreht. Dann wiederholt sich bei der ersten halben Umdrehung derselbe Vorgang an allen Stellen der Glasscheibe, so dass auf ihr eine positiv elektrische und eine negativ elektrische Hälfte entsteht. Sowie aber die positiv elektrische Hälfte an die andere Spitze b kommt, findet Folgendes statt. Die Papierspitze sowohl wie die Metallspitzen saugen die positive Elektricität aus der Glasscheibe ein. Es fliesst dann also die positive Elektricität von B′ durch P und N zu A′ und zugleich die negative von A′ durch N, P zu B′. Diese entgegengesetzt fliessenden entgegengesetzten Elektricitäten verstärken sich also bei jeder Umdrehung. Bleiben die Kugeln N und P in Berührung, so gleichen sich diese entgegengesetzten Elektricitäten ohne Weiteres aus. Werden sie aber von einander getrennt, so sammelt sich auf der einen positive, auf der anderen negative Elektricität an und es gehen, wie wir sehen werden, Funken zwischen ihnen über. In der Fig. 13 ist zugleich eine Leydener Flasche gezeichnet, deren innere Belegung mit der einen Kugel in Verbindung ist. Man kann diese Flaschen anbringen, um die Dichtigkeit der Elektricität auf den Kugeln zu vergrössern.

Die Holtz'sche Maschine ist einer der genialsten Apparate, den die Physik kennt.

Die beiden Kugeln der Influenzmaschine mussten zuerst, wenn die Maschine in Thätigkeit versetzt wurde, an einander geschoben werden, damit die Elektricität überhaupt zwischen ihnen übergehen kann. Ist die Maschine aber einmal in Thätigkeit gebracht, dann wird bald die Elektricitätsmenge und in Folge dessen das Potential und die Dichtigkeit der Elektricität auf den Kugeln so gross, dass es nicht mehr nöthig ist, sie zusammenzuhalten. Wenn man die Kugeln nämlich von einander entfernt, so dass also eine kleinere oder grössere Luftschicht zwischen ihnen sich befindet, so strömt die Elektricität vermöge ihrer grossen Dichte in die Luft aus und durch die Luftschicht hindurch geht sie zwischen den Kugeln über. Dieses Ausströmen der Elektricität ist mit einer sanften Lichterscheinung verbunden. Im Dunkeln sieht man von den beiden Kugeln mildleuchtende blaue oder violette Strahlen ausgehen und zwar in Form eines Strahlenbüschels. Man nennt dieses Licht das elektrische Büschellicht. Ein ähnliches Licht zeigt sich auch beim Ausströmen der Elektricität aus einer Spitze. Auch diese leuchtet im Dunkeln mit violetter Farbe.

Die Luft, als leicht beweglicher Isolator, befördert dieses Ausströmen. Nehmen wir eine positiv elektrische Spitze, so wird auf

dieser die Dichtigkeit der Elektricität so gross, dass sie den Widerstand der Luft überwinden kann. Dann aber werden die sie umgebenden Lufttheilchen auch positiv elektrisch und werden in Folge dessen als gleichnamig von der Spitze abgestossen. An ihre Stelle kommen neue, noch unelektrische Theilchen. Diese werden durch die Berührung der Spitze auch positiv elektrisch und ebenfalls abgestossen, und so geht das weiter. Führt man der Spitze fortwährend Elektricität zu, etwa durch eine Elektrisirmaschine, so geht von der Spitze aus fortwährend ein Luftstrom, der elektrisirte Theilchen enthält. Man nennt diese Erscheinung den elektrischen Wind. Zugleich findet an der Spitze eine fortwährende Entladung der Elektricität zwischen ihr und Lufttheilchen statt und diese Entladung ist mit einem schwachen Lichtschein, dem elektrischen Glimmlicht, verbunden. Das Glimmlicht zeigt sich bei scharfen Spitzen, das Büschellicht bei weniger scharfen Leitern, also auch bei den Kugeln der Influenzmaschine.

Wenn aber auf den beiden Kugeln der Influenzmaschine bei hohem Potential zugleich die Elektricitätsmenge, also auch die Dichtigkeit sehr gross gemacht wird, ohne dass solche continuirliche Büschelentladung möglich ist, dann werden die Erscheinungen andere. Man braucht nur, um das zu erreichen, die beiden Kugeln zu Knöpfen zweier Leydener Flaschen zu machen, wie das in Fig. 13 an einer Kugel gezeichnet ist. Dann werden durch das Drehen der Influenzmaschine die beiden Flaschen und mit ihnen die Kugeln sehr stark geladen, ohne dass ein continuirlicher Ausgleich der Elektricität zwischen den Kugeln stattfindet. Sowie aber auf der einen Kugel positive Elektricität, auf der anderen negative, beide von sehr grosser Dichte, sich befinden, dann wird die Luft von den Elektricitäten gewaltsam durchbrochen. Die positive Elektricität auf dem Knopf der einen Leydener Flasche und die negative Elektricität auf dem Knopf der anderen ziehen sich gewaltsam an und es springt zwischen den beiden Knöpfen unter knatterndem Geräusch ein elektrischer Funke über. Dreht man die Influenzmaschine immer weiter, so wird wieder die eine Kugel positiv, die andere negativ elektrisch mit sehr grosser Dichtigkeit und allmählich überwindet die Kraft zwischen den Kugeln den Widerstand der Luft und so springen von Zeit zu Zeit Funken zwischen den beiden Kugeln über. Nach jedem Ueberspringen eines Funkens sind die beiden Kugeln zum Theil entladen, indem ihre entgegengesetzten Elektricitäten sich zum Theil ausgeglichen haben. Man nennt diesen Vorgang eine plötzliche oder disruptive Entladung.

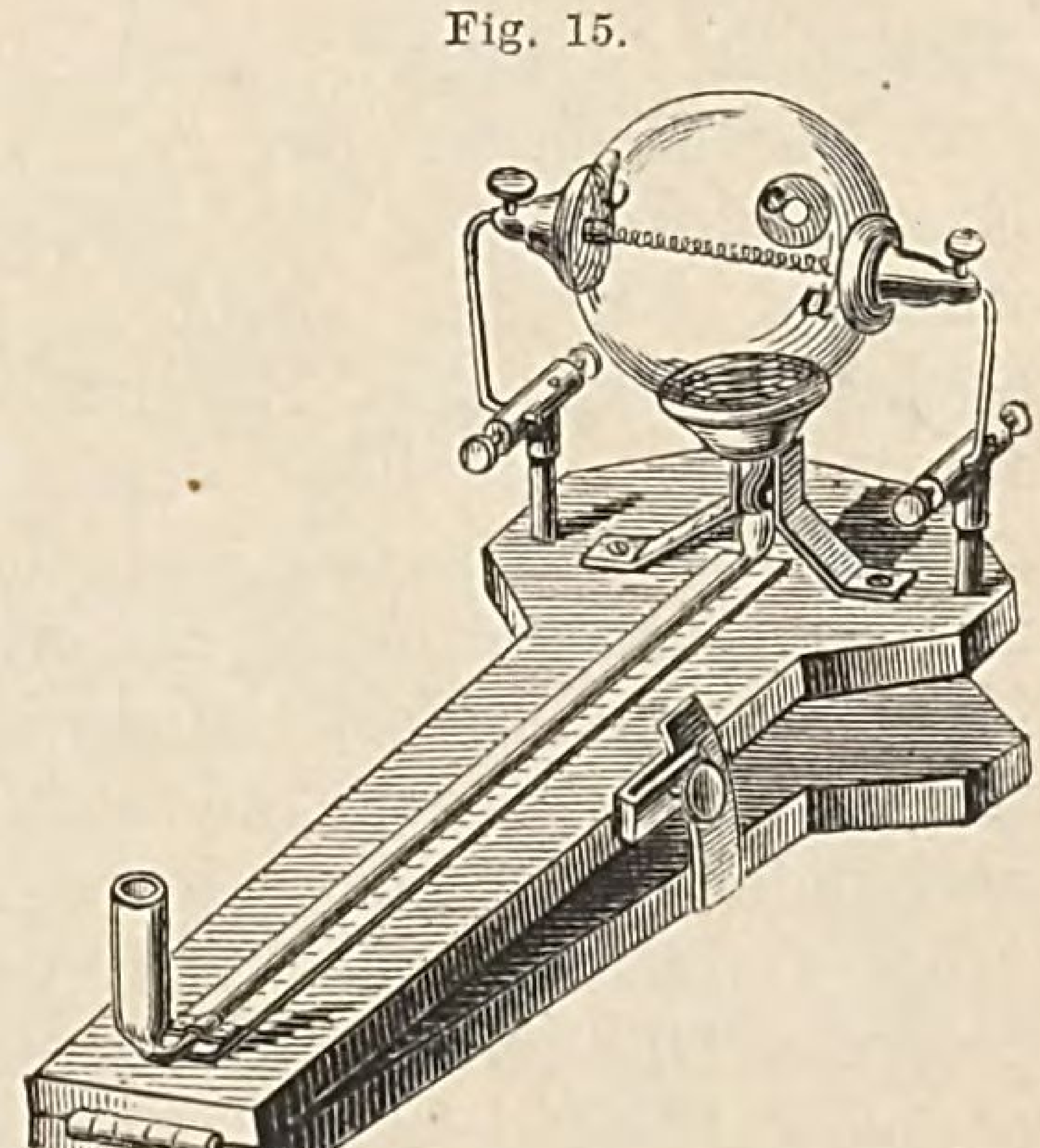
Ganz derselbe Vorgang findet statt, wenn man nicht zwei von vornherein entgegengesetzt elektrisirte Leiter hat, die einander gegenüber stehen, sondern wenn man einem geladenen elektrischen Leiter einen anderen unelektrischen immer näher bringt. Auf dem unelektrischen Leiter wird Influenzelektricität erzeugt, und wenn er nahe genug an den ersten, geladenen Leiter herangekommen ist, so haben die beiden einander gegenüberliegenden Elektricitäten, die ja von entgegengesetzter Art sind, solch grosse Dichtigkeiten erlangt, dass sie den Widerstand der Luft gewaltsam überwinden. Es springt also auch hier ein elektrischer Funke über. Schon wenn man einem geladenen

Leiter ein Fingergelenk nähert, springt ein Funke über und man spürt einen geringen Stich im Finger.

Der Ausgleich der Elektricitäten zweier elektrisirten Leiter, wie wir ihn bisher betrachtet haben, geschah immer durch die Luft, entweder continuirlich als Büschelentladung oder disruptiv als Funkenentladung.

Wenn man aber zwei isolirte Leiter durch einen metallischen, leitenden Draht mit einander verbindet und den einen positiv, den anderen negativ elektrisirt, so wird natürlich der Ausgleich der Elektricitäten nicht mehr durch die Luft vor sich gehen, sondern durch den Draht, da ja die Elektricität auf Metallen sich mit der allergrössten Leichtigkeit verschiebt. Es wird also von dem positiven Conduktor (mit positivem Potential) die positive Elektricität durch den Draht auf den negativen überfliessen und von dem negativen Conduktor (mit negativem Potential) zugleich die negative Elektricität auf den positiven Conduktor, bis sich beide Elektricitäten ausgeglichen haben. Natürlicherweise ist es undenkbar, sich das so vorzustellen, als ob es zwei Flüssigkeiten wären, die zu gleicher Zeit in entgegengesetztem Sinne durch einen Draht fliessen. Aber wir wissen überhaupt nicht, was eigentlich durch den Draht sich ausgleicht, und können deshalb noch um so weniger sagen, wie dieser Ausgleich stattfindet. Nur die Thatsache des Ausgleichs können wir constatiren. Verbindet man also z. B. die beiden Conduktoren einer Elektrisirmaschine mit einem Draht, so fliesst durch diesen Draht fortwährend Elektricität, so lange man die Maschine dreht. Denn durch die Drehung der Maschine wird fortwährend auf dem einen Conduktor positives, auf dem anderen negatives Potential erzeugt und deshalb strömen die beiden Elektricitäten sofort durch den Draht. Man sagt dann, es fliesst ein elektrischer Strom durch den Draht. Dieser elektrische Strom nun bringt in dem Draht und in seiner Umgebung gewisse Wirkungen hervor, von denen wir einige hier zuerst nur kurz angeben wollen.

Fig. 15.

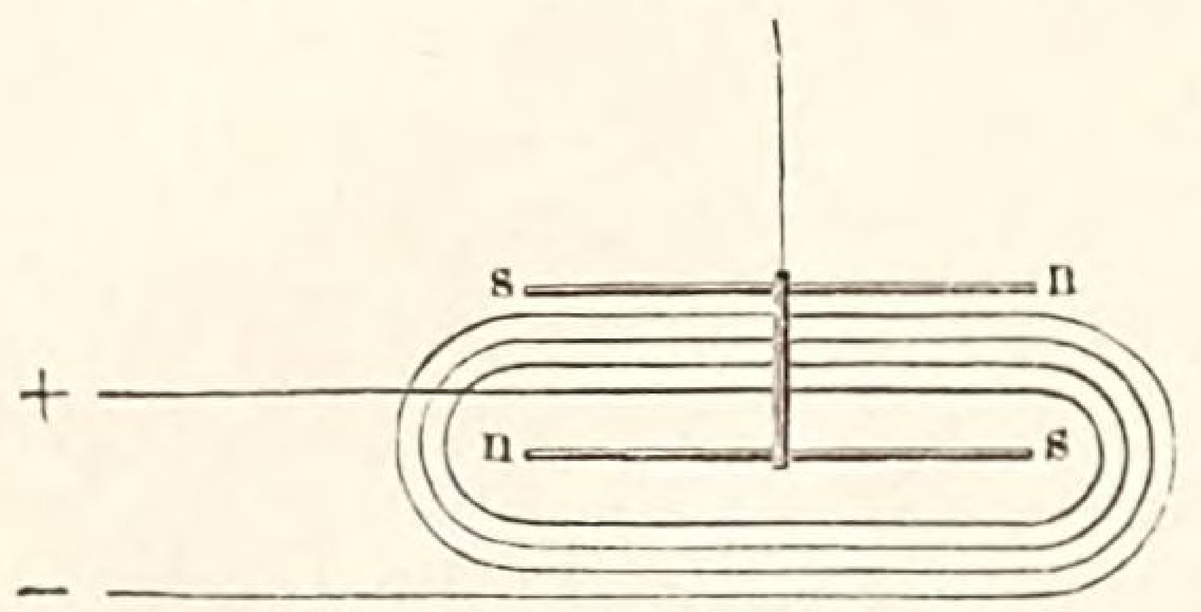


Vor allen Dingen wird der Draht erwärmt. Man kann das leicht durch einen Apparat zeigen, der von Riess angegeben ist. Man bringt einen spiralförmig gewundenen Platindraht a (Fig. 15) in eine hohle Glaskugel, die in ein enges Rohr ausläuft, in welchem etwas Wasser sich befindet. Die Enden des Spiraldrahtes, die durch die Glaskugel eingeschmolzen hindurch gehen, befestige man an die beiden Conduktoren einer Elektrisirmaschine. Dann bildet also der Platindraht die Verbindung zwischen den Conduktoren und durch ihn fliesst beim Drehen der Elektrisirmaschine ein elektrischer Strom. Dieser Draht wird nun wärmer, wenn die Elektricität durch ihn fliesst, wie man daraus erkennt, dass die Luft

in der Kugel sich ausdehnt und das Wasser in der engen Röhre vor sich hinschiebt.

Eine zweite wichtige Wirkung des elektrischen Stromes kann man auf folgende Weise erkennen. Den Draht, durch den der Strom fliessen soll, umhüllt man sorgfältig mit Kautschuk und windet ihn vielemal um einen rechteckigen Holzrahmen (Fig. 16). Durch ein freigelassenes Loch in diesem Holzrahmen steckt man ein Elfenbeinstäbchen, welches an einem Faden hängt und welches zwei Magnetnadeln s n und n s trägt, so dass die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere oberhalb sich befindet. Die beiden Nadeln haben ihre Pole in entgegengesetzter Lage, so dass dem Nordpol der einen der Südpol der anderen grade gegenüberliegt. Sowie man nun durch diesen gewundenen Draht, den man Multiplikator nennt, den elektrischen Strom hindurchfliessen lässt, werden die Nadeln aus ihrer Lage abgelenkt und bleiben so lange abgelenkt, als der Strom fliesst. Hört der elektrische Strom auf, so kommen die Nadeln auch wieder in ihre Ruhelage. Diese Wirkung des elektrischen Stromes, deren genauere Bestimmung uns noch beschäftigen wird, wird uns oft dazu dienen, anzuzeigen, ob überhaupt ein elektrischer Strom durch einen Draht fliesst. Der elektrische Strom hat noch eine Reihe von anderen Wirkungen, die aber mit den Strömen, mit denen wir es hier zu thun haben, nur schwer nachzuweisen sind.

Fig. 16.

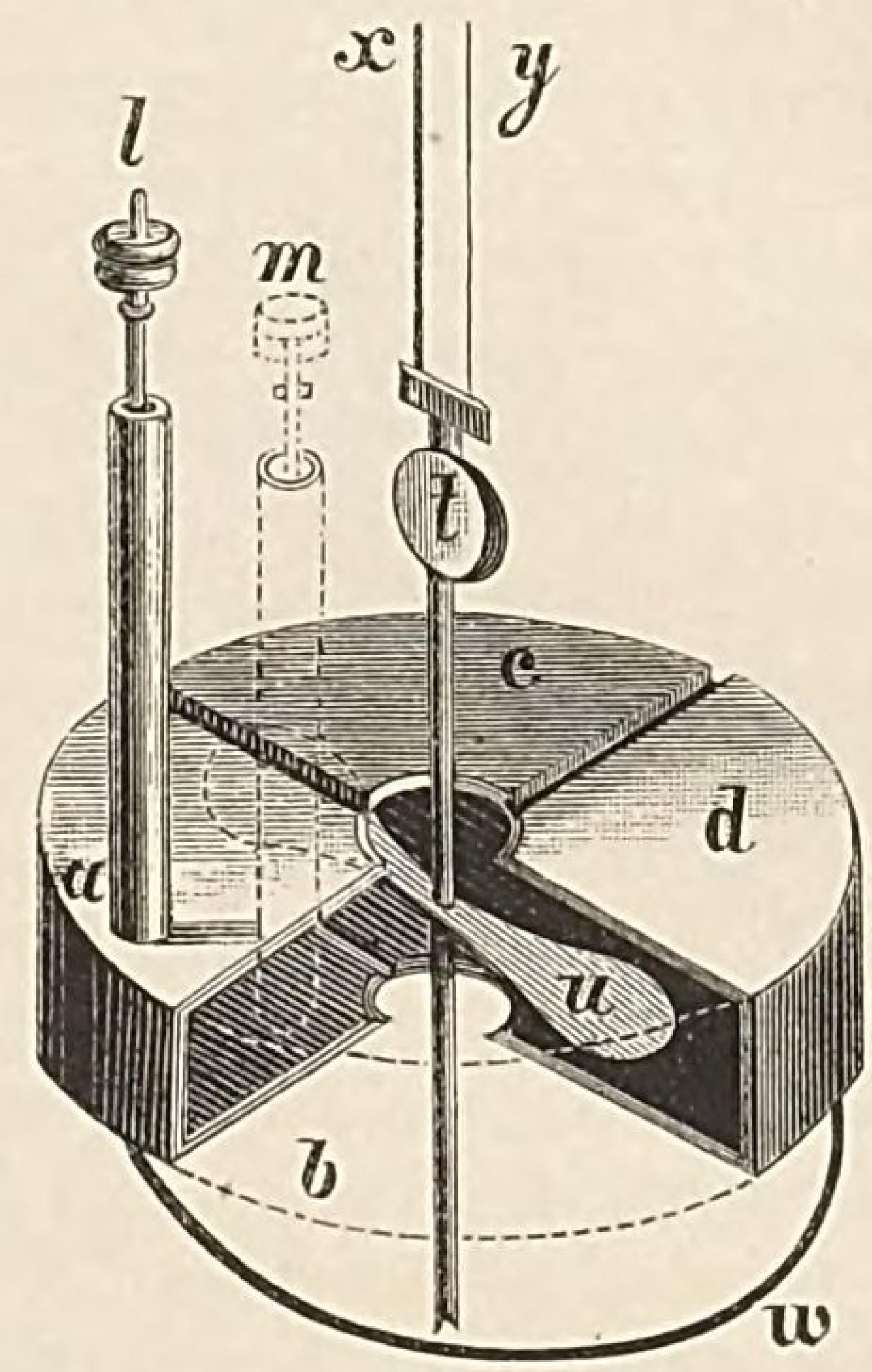


Nachdem wir so einige Methoden kennen gelernt haben, wie man Elektricität erzeugt, nachdem wir ferner die hauptsächlichen Wirkungen und Eigenschaften der ruhenden Elektricität erkannt und auch einige Eigenschaften des elektrischen Stromes schon gefunden haben, müssen wir uns noch mit einem Apparat bekannt machen, der uns erlaubt, auch sehr geringe Elektricitätsmengen sicher zu erkennen, zu bestimmen, ob die Elektricität positiv oder negativ ist, und ihre Menge zu messen. Apparate, welche dieses gestatten, nennt man Elektrometer. Schon ein gewöhnliches Goldblattelektroskop giebt uns ein Mittel, um das Vorhandensein von Elektricität anzuzeigen und in geringen Grenzen auch zu bestimmen, ob mehr oder weniger Elektricität vorhanden ist. Denn je weiter die Goldblättchen divergiren, desto grösser muss die Elektricitätsmenge sein, die ihre Divergenz hervorbringt. Das Goldblattelektroskop ist aber zu unempfindlich. Sehr geringe Elektricitätsmengen bringen keine merkliche Divergenz der Goldblättchen hervor. Sehr grosse Elektricitätsmengen dagegen bewirken, dass die Goldstreifchen sich so weit ausstrecken, als sie eben können, so dass eine Vermehrung der Elektricitätsmengen nicht erkannt werden kann. Ausserdem zeigt das Goldblattelektroskop von selbst nicht an, ob die zu prüfende Elektricität positiv oder negativ ist. Erst durch Anwendung eines geriebenen Glasstabes oder einer geriebenen Siegellackstange kann man die Art der Elektrisirung er-

kennen. Alle diese Mängel sind in verschiedenen Elektrometern vermieden, die Sir W. Thomson construirt hat. Das wichtigste von diesen ist das Quadrantelektrometer, welches schon ausserordentlich geringe Elektricitätsmengen anzeigt und zu messen gestattet.

Das Goldblattelektroskop beruht darauf, dass zwei gleichnamig elektrisirte Goldstreifchen sich abstossen. In dem Quadrantelektrometer dagegen werden nicht nur die Abstossungen gleichnamiger Elektricitäten, sondern auch die Anziehungen ungleichnamiger benutzt. Die wesentlichen Theile des Instruments sind in Fig. 17 abgebildet. Eine Nadel u, aus dünnem Aluminiumblech, hängt an zwei dünnen Fäden x und y in einem Messingkasten, welcher aus vier von einander getrennten Quadranten a, b, c, d besteht. (Der Quadrant b ist in der Figur weggelassen, damit man die Nadel u sehen kann.) Diese Quadranten stehen isolirt auf Glasfüssen. Die beiden Quadranten a und d sind mit einander durch einen Draht w verbunden, und ebenso die beiden Quadranten c und b. An dem Quadranten a ist ein Metallstäbchen l, an c ein Metallstäbchen m befestigt, welche zur Zuführung der zu untersuchenden Elektricität dienen, oder auch nach Bedürfniss die Ableitung zur Erde vermitteln. Man nennt diese Stäbchen die Elektroden. Die Nadel u trägt auf ihrer Axe einen Spiegel t, von welchem das Bild einer Flamme auf eine Skala geworfen wird.

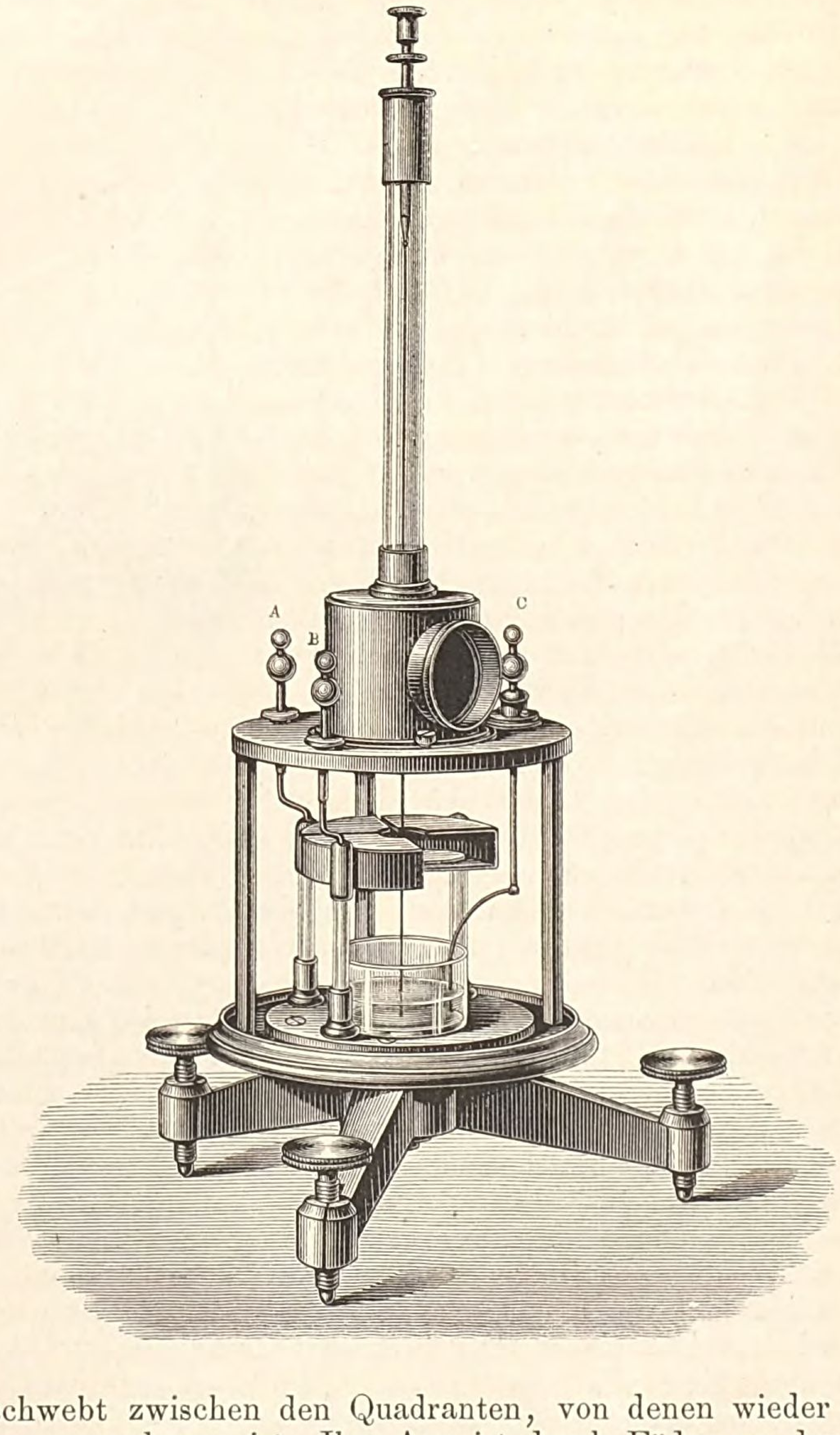
Fig. 17.



Um den Apparat zu benützen, wird die Nadel u ein für allemal stark positiv geladen (auf ein hohes positives Potential gebracht) und so gestellt, dass sie zwischen a d und b c liegt, und dafür gesorgt, dass diese Ladung constant erhalten bleibt. Nun wird eins der beiden Metallstäbchen, z. B. m, mit der Erde verbunden, also auf das Potential Null gebracht und dadurch auch die mit ihm verbundenen Quadranten b und c. Durch das andere Metallstäbchen wird den Quadranten a und d die zu untersuchende Elektricität mitgetheilt. Ist diese positiv, so wird die positive Nadel von a und d abgestossen, bewegt sich also nach b und c hin, dreht sich mithin in derselben Richtung wie ein Uhrzeiger. Ist dagegen die zugeführte Elektricität negativ, so wird die Nadel von a und d angezogen, dreht sich also entgegengesetzt wie ein Uhrzeiger. Der Sinn der Drehung giebt also an, ob die zugeführte Elektricität positiv oder negativ ist, und die Grösse der Drehung, die man durch die Verschiebung des Flammenbildes auf der Skala messen kann, giebt ein Mass für die Grösse der untersuchten Elektricitätsmenge. Der Apparat ist so ausserordentlich empfindlich, dass er die kleinsten Elektricitätsmengen zu messen gestattet. Er wird uns daher im Folgenden auch dazu dienen, um das Vorhandensein von geringen Elektricitätsmengen nachzuweisen und ihre Grösse zu messen.

In etwas von der originalen Thomson'schen veränderter, aber leichter zu übersehender Form ist das Quadrantelektrometer, wie es von Stöhrer in Leipzig ausgeführt wird, in Fig. 18 abgebildet. Die

Fig. 18.



Nadel schwebt zwischen den Quadranten, von denen wieder einer in der Figur weggelassen ist. Ihre Axe ist durch Fäden an dem oberen Knopf des Apparates drehbar befestigt, unten taucht sie in ein Gefäss mit concentrirter Schwefelsäure, durch welche der Nadel die Elektricität zugeführt wird, und welche zugleich zur Dämpfung der Schwingungen der Nadel dient. Zwei gegenüberliegende Quadranten sind

mit der Elektrode A verbunden, die beiden anderen mit der Elektrode B, von C aus endlich führt eine leitende Verbindung in die Schwefelsäure, so dass man z. B. an C eine geladene Leydener Flasche anlegen kann und dadurch mit Hülfe der Schwefelsäure die Nadel auf das Potential dieser Flasche bringen kann.

Betrachten wir die Wirkung des Quadrantelektrometers genauer, so werden wir erkennen, dass es eigentlich zuerst gar nicht Elektricitätsmengen sind, welche man damit messen kann, sondern nur Potentiale, und dass man erst indirekt daraus auch die Grösse von Elektricitätsmengen mit einander vergleichen kann. Denn bei der Messung wird die Nadel ein für allemal auf einem sehr hohen Potential gehalten, indem man ihre Elektrode C mit einem elektrisirten Körper verbindet, der ein hohes Potential hat. Der zu untersuchende Körper wird durch einen feinen Draht mit dem einen Quadrantenpaare, etwa mit A, verbunden, während das andere Paar zur Erde abgeleitet wird, also auf das Potential Null gebracht wird. Von dem zu untersuchenden Körper strömt nun durch A Elektricität so lange auf die beiden Quadranten, bis ihr Potential gleich dem des zu untersuchenden Körpers ist. Diese Quadranten enthalten also um so mehr Elektricität, je höher das Potential des zu untersuchenden Körpers ist. Der Drehungswinkel der Nadel giebt also direkt ein Mass für das *Potential* des untersuchten Körpers, nicht für die auf ihm befindliche Elektricitätsmenge. Kennt man aber noch die Capacität des Körpers, so kann man auch seine Elektricitätsmenge leicht berechnen. Denn es ist ja die auf ihm enthaltene Elektricitätsmenge gleich seinem Potential, multiplicirt mit seiner Capacität, wie aus der Bedeutung des Begriffes Capacität hervorgeht, den wir auf S. 14 definirt haben.

Wir haben so die Möglichkeit, Elektricitätsmengen und Potentiale von Körpern mit einander zu vergleichen. Unter dem Potential eines Punktes oder eines Leiters verstanden wir die Arbeit, welche nöthig ist, um 1 Coulomb allen wirkenden Kräften entgegen an den betreffenden Punkt oder den Leiter zu bringen und zwar von unendlicher Entfernung her, oder genauer gesagt, von einer Stelle her, wo das Potential Null ist. Bringen wir nicht *ein* Coulomb auf den Leiter, sondern 2, 3, 4 Coulomb u. s. w., so müssen wir die 2-, 3-, 4fache Arbeit leisten. Um also eine bestimmte Elektricitätsmenge an einen Punkt zu bringen, dessen Potential bekannt ist, müssen wir eine Arbeit aufwenden, welche gleich ist dem Produkt aus diesem Potential und der zugeführten Elektricitätsmenge. Haben wir diese Elektricitätsmenge an diesen Punkt oder an diesen Leiter gebracht, haben wir also die bestimmte Arbeit aufgewendet, so steckt diese Arbeit jetzt gewissermassen aufgespeichert in dem Punkte oder in dem Leiter. Der Punkt oder der Leiter hat, wie man sagt, eine gewisse Energie, welche ihn befähigt, Kräfte auf andere Elektricitätsmengen auszuüben und Arbeit zu leisten, und diese Energie ist grade gleich der Arbeit, welche wir aufgewendet haben, um dem Punkt, dem Leiter, der auf gewissem Potential war, diese Elektricitätsmenge zuzuführen.

Es wird also die Energie, die ein elektrisirter Leiter enthält, die Arbeit, welche er leisten kann, gemessen durch

das Produkt aus seinem Potential und seiner Elektricitätsmenge.

Daraus können wir auch sofort eine Einheit für das Potential ableiten. Denn die Einheit der Elektricitätsmenge haben wir ja bereits festgesetzt; sie ist 1 Coulomb. Die Einheit der Arbeit aber ist durch die Mechanik ein für allemal definirt. Die Mechanik setzt diejenige Arbeit als Einheit fest, welche von der Einheit der Kraft geleistet wird, wenn sie den Körper, den sie angreift, um 1 Centimeter verschiebt. Es würde dann also derjenige Punkt oder derjenige Leiter auf dem Potential 1 sein, der eine Einheit der Arbeit erforderte, um 1 Coulomb aus der Unendlichkeit bis zu ihm heranzubringen.

Für praktische Zwecke ist aber diese Einheit des Potentials zu klein. Es müsste dann in den gewöhnlich vorkommenden Fällen der Werth des Potentials eines Körpers durch sehr grosse Zahlen angegeben werden. Man nimmt deshalb nach den Beschlüssen des Pariser Elektrikercongresses an, dass ein Leiter dann auf der Einheit des Potentials sich befindet, wenn 10 Millionen Arbeitseinheiten nöthig sind, um 1 Coulomb aus der Unendlichkeit zu ihm heranzubringen, oder welcher, wenn er durch seine Kraft 1 Coulomb bis in die Unendlichkeit fortbewegt, 10 Millionen Arbeitseinheiten leistet. Diese Einheit des Potentials nennt man 1 Volt. Wenn also eine Elektricitätsmenge von 30 Coulomb sich frei (auf einem Draht) von einem Leiter, der auf dem Potential 5 Volt ist, bis zur Erde (Potential Null) fortbewegt, so leisten die Kräfte des Leiters eine Arbeit, welche gleich ist $(5 \times 30) \times 10$ Millionen $= 150 \times 10$ Millionen Arbeitseinheiten. Diese Zahl scheint deswegen so gross, weil die mechanische Arbeitseinheit eine sehr kleine ist. In der Praxis nimmt man als Arbeitseinheit das Kilogrammeter, d. h. die Arbeit, welche geleistet werden muss, um 1 Kilo 1 Meter hoch zu heben. Ein Kilogrammeter hat 98,100,000 mechanische Arbeitseinheiten. Folglich leisten in unserem Beispiel die Kräfte eine Arbeit von etwas über 15 Kilogrammetern.

Als dritte Grösse ausser Elektricitätsmenge und Potential haben wir bisher die Capacität eingeführt. Unter der Capacität eines Leiters verstanden wir das Verhältniss der auf ihm befindlichen Elektricitätsmenge zu dem Potential, welches diese hervorbringt:

$$\text{Capacität} = \frac{\text{Elektricitätsmenge}}{\text{Potential}}.$$

Wir werden also auch sagen können, dass derjenige Leiter die Capacität 1 hat, auf welchem die Elektricitätsmenge 1 Coulomb das Potential 1 Volt hervorbringt. Diese Einheit der Capacität bezeichnet man mit einem besonderen Namen und nennt sie 1 Farad. Man misst also die Capacitäten von Leitern und Condensatoren nach Farads. Für gewöhnliche Zwecke ist das Farad oft unbequem gross. Deswegen benutzt man auch oft den millionsten Theil desselben als Einheit und nennt diesen 1 Mikrofarad. So hat z. B. eine Leydener Flasche von 10 Centimeter Durchmesser und 15 Centimeter Höhe der Belegung bei einer Glasdicke von $^1/_{10}$ Centimeter eine Capacität von ungefähr $^1/_5$ Mikrofarad.

2. Kapitel.

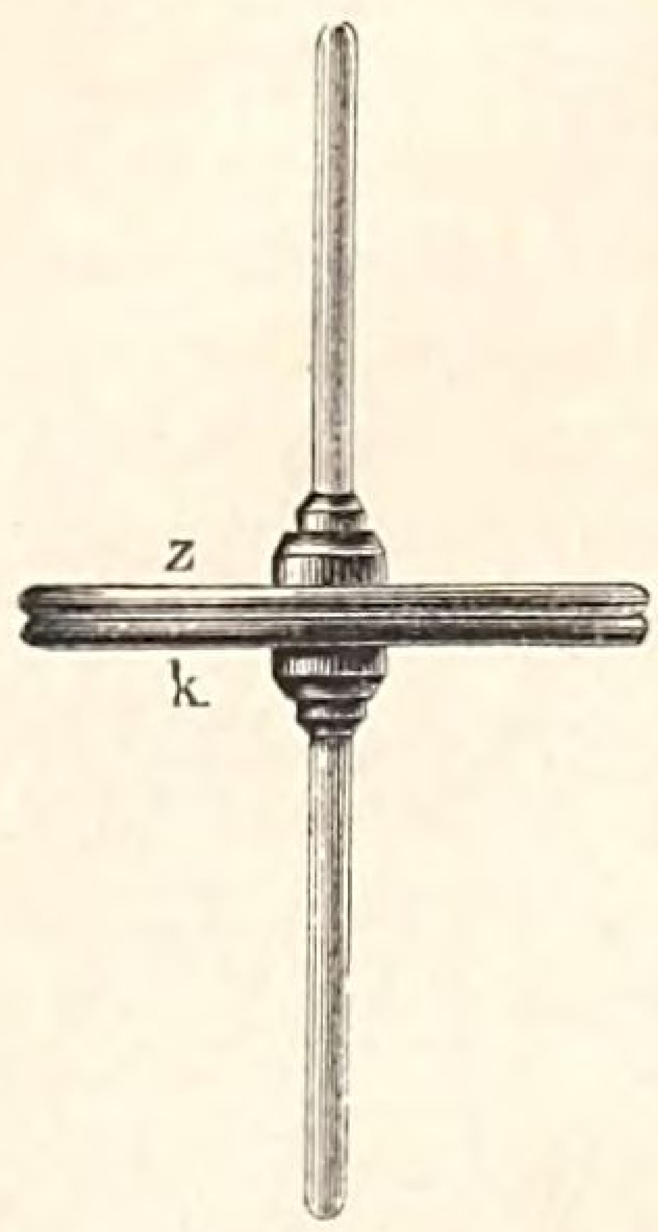
Elektricität durch Berührung. Der galvanische Strom.

Lange Zeit galt es für unmöglich, Elektricität auf andere Weise zu erzeugen, als durch Reibung. Zwar konnte man mit einem einmal elektrisirten Körper auch wieder von Neuem durch Influenz Elektricität entwickeln, aber immer musste man zuerst einen elektrisirten Körper dazu haben und dieser liess sich nicht anders herstellen, als durch Reibung. Da war es gegen Ende des vorigen Jahrhunderts, dass, durch einen zufälligen Versuch von Galvani veranlasst, Volta, Professor in Pavia, eine Reihe von Experimenten anstellte, welche nicht nur neue Methoden zur Hervorbringung von Elektricität boten, sondern welche die gesammte Kenntniss von den Wirkungen der Elektricität ausserordentlich erweiterten. Volta zeigte zum ersten Male, dass man Körper auch ganz ohne Reibung in den elektrischen Zustand versetzen könnte, er machte zum ersten Male Experimente, in denen Elektricitätsentwickelung durch blosse Berührung zweier leitender Körper auftrat. Volta zeigte, dass wenn man zwei verschiedene Metalle nur auf einander legt, ohne sie an einander zu reiben, dass schon dadurch auf beiden Metallen der elektrische Zustand entsteht. Es wurde Volta bei den damaligen ungenügenden Hülfsmitteln, namentlich bei der Unempfindlichkeit seiner Elektroskope, durchaus nicht leicht, dies nachzuweisen, denn es handelte sich zuerst nur um sehr geringe Elektricitätsmengen. Es ist aber jetzt durch die grossartige Verfeinerung der Elektrometer sehr einfach, den Volta'schen Fundamentalversuch, wie man ihn nennt, nachzumachen.

Wir nehmen also (Fig. 19) eine sorgfältig eben abgeschliffene Kupferplatte k und eine ebenso sorgfältig eben abgeschliffene Zinkplatte z. Jede von beiden Platten ist an einem Glasstiel befestigt, damit wir sie daran fassen können, ohne eine leitende Verbindung mit der Erde herzustellen. Drücken wir nun die beiden Platten k und z auf einander, ohne Reibung, und trennen sie dann von einander, so zeigt sich jede von beiden Platten elektrisch. Denn wenn wir sie an die eine Elektrode des Quadrantelektrometers bringen, so wird die Nadel abgelenkt. Zugleich zeigt sich, dass beide Platten entgegengesetzt elektrisch geworden sind. In unserem Falle ist das Zink positiv elektrisch, das Kupfer negativ, das Zink hat ein positives Potential be-

kommen, das Kupfer ein negatives. Wir haben also durch blosses Aufeinanderlegen zweier verschiedener Metalle faktisch Elektricität auf ihnen entwickelt. Wir müssen annehmen, dass an der Berührungsfläche der beiden Metalle eine Kraft auftritt, welche auf beiden Elektricität entwickelt und zwar auf dem einen Metall die entgegengesetzte wie auf dem anderen.

Fig. 19.



Man nennt diese Kraft die elektrische Scheidungskraft. Die elektrische Scheidungskraft, welche an der Berührungsfläche auftritt, bewirkt also, dass das Potential der beiden Metalle von einander verschieden wird. Die eine Platte hat in ihrer ganzen Ausdehnung ein bestimmtes Potential, die andere Platte hat auch in ihrer ganzen Ausdehnung ein bestimmtes Potential, welches aber von dem der ersten verschieden ist. Und die Erfahrung hat nun gezeigt, dass die elektrische Scheidungskraft immer so viel Elektricität entwickelt, dass die Potentiale der beiden Platten stets um dieselbe Grösse verschieden sind, welche Grösse und Gestalt auch die Platten haben mögen, und unabhängig davon, ob etwa sonst noch auf den Platten Elektricität vorhanden ist. Führt man den beiden Platten zusammen von aussen, etwa durch eine Elektrisirmaschine, noch Elektricität hinzu, etwa positive, so wird das Potential jeder Platte vergrössert, aber trotzdem ist das Potential der einen Platte (bei uns die Zinkplatte) um ein Bestimmtes grösser, als das der Kupferplatte. Die elektrische Scheidungskraft bewirkt also, dass immer die Differenz der Potentiale auf beiden Platten dieselbe bleibt. Es sei z. B. bei einem bestimmten Plattenpaar die durch die Scheidungskraft erzeugte Potentialdifferenz gleich 2 Volt. Wenn man dann z. B. die eine Platte zur Erde ableitet, so dass ihr Potential Null wird, so bewirkt die Scheidungskraft, dass auf der anderen Platte das Potential so lange wächst, bis es gleich 2 Volt geworden ist, bis also die Differenz der Potentiale wieder 2 Volt geworden ist. Bringt man das Plattensystem mit dem Conduktor einer Elektrisirmaschine in Verbindung, der z. B. Elektricität von 30 Volt enthält, und entfernt man dann die Verbindung, so wird die eine Platte das Potential 30 Volt, die andere 32 Volt heben. Bei der Berührung zweier verschiedener Metalle tritt also eine Kraft auf, welche auf beiden Metallen Elektricität erzeugt und welche bewirkt, dass immer die Differenz der Potentiale auf beiden Metallen denselben Werth behält. Das ist eine reine Erfahrungsthatsache, deren Existenz man durch die bisher bekannten Eigenschaften der Elektricität nicht vermuthen konnte. Verbindet man also etwa die eine von beiden isolirten Platten, die positive, mit dem Quadrantelektrometer, so bekommt man einen Ausschlag der Nadel nach der positiven Seite, von z. B. 35 Skalentheilen. Verbindet man die andere Platte mit dem Elektrometer, so bekommt man einen Ausschlag nach der negativen Seite von ebenfalls 35 Skalentheilen. Die Differenz der beiden Ausschläge

(+ 35 weniger — 35) ist 70. Wenn man nun etwa die positive Platte mit dem Elektrometer in Verbindung hält, und die negative zur Erde ableitet, so erhält man am Elektrometer gerade den Ausschlag 70. Diese Zahl 70 ist also ein Mass für die Grösse der elektrischen Scheidungskraft bei der Berührung von Kupfer und Zink. Ganz ebenso wie bei Kupfer und Zink entsteht bei allen Metallen bei der Berührung eine elektrische Scheidungskraft. Gold und Silber werden ebenso durch Berührung elektrisch, wie Eisen und Zinn. Auch andere nicht metallische, aber leitende Körper wie Kohle, Schwefelkies, Braunstein, Bleisuperoxyd und andere geben bei der Berührung unter einander oder mit Metallen Anlass zum Auftreten einer elektrischen Scheidungskraft. Immer wird der eine von den beiden sich berührenden Körpern positiv elektrisch, der andere negativ. Man kann also die Körper in eine Reihe so ordnen, dass immer bei der Berührung je zweier der vorhergehende positiv, der folgende negativ elektrisch wird. Eine solche Reihe nennt man eine Spannungsreihe. Eine solche Reihe von einigen Körpern ist z. B. folgende:

Zink, Cadmium, Zinn, Blei, Wolfram, Eisen, Wismuth, Antimon, Kupfer, Silber, Gold, Uran, Tellur, Platin, Palladium.

Man sieht daraus, dass Zink bei der Berührung mit allen Metallen positiv wird. Cadmium wird auch beim Contakt mit allen Metallen positiv, ausser beim Contakt mit Zink. Mit diesem in Berührung wird es negativ. Palladium wird bei der Berührung mit allen in der Reihe genannten Metallen negativ.

Eine nähere quantitative Untersuchung der Scheidungskräfte bei den einzelnen Metallcombinationen hat aber noch zu einem weiteren, wesentlichen Gesetz geführt. Wir haben gesehen, dass wir durch die Ausschläge der Elektrometernadel auf einfache Weise ein Mass für die Grösse der Scheidungskraft bei zwei Metallen erlangen können. Es haben nun eine Reihe von Beobachtern solche Bestimmungen ausgeführt. Sie haben bei allen möglichen Combinationen je zweier Metalle die Grösse der Scheidungskraft ermittelt. Man bezeichnet die Scheidungskraft zwischen zwei Körpern gewöhnlich dadurch, dass man den Namen des positiven voransetzt und zwischen ihnen einen vertikalen Strich macht. Es bedeutet also

Zink | Kupfer

die Scheidungskraft zwischen Zink und Kupfer. Die Scheidungskraft

Kupfer | Zink

hat demnach den entgegengesetzten Werth, weil das negative Metall voransteht.

So fand Kohlrausch folgende Werthe für die Scheidungskraft, die alle auf Zink | Kupfer = 100 bezogen sind:

Zink	Kupfer	= 100
Zink	Gold	= 112,7
Zink	Silber	= 105,6
Zink	Platin	= 107,0
Zink	Eisen	= 74,7
Eisen	Kupfer	= 31,9
Eisen	Platin	= 32,3

Eisen | Gold = 39,7
Eisen | Silber = 29,8
Kupfer | Gold = 12,7.

Diese Zahlen bedeuten nach dem Gesagten: Wenn der Ausschlag der Combination Zink | Kupfer am Elektrometer 100 Skalentheile beträgt, wenn also die Grösse der Scheidungskraft zwischen Zink und Kupfer durch die Zahl 100 angegeben wird, so beträgt der Ausschlag bei der Combination Zink | Eisen 74,7 Skalentheile, bei Kupfer | Gold 12,7 Skalentheile u. s. w., es wird also dann die Grösse der Scheidungskraft zwischen Kupfer und Gold durch die Zahl 12,7 angegeben.

Nun zeigen aber diese Zahlen ein merkwürdiges Gesetz. Wenn man drei Metalle auf einander legt, z. B. Zink, Kupfer, Gold, so erhält man die elektrische Scheidungskraft

Zink | Kupfer + Kupfer | Gold = 100 + 12,7 = 112,7.

Genau so gross ist aber nach den obigen Zahlen die Scheidungskraft der Combination

Zink | Gold.

Legt man ebenso die Platten Zink, Silber, Eisen auf einander, so hat man die Scheidungskraft

Zink | Silber + Silber | Eisen = 105,6 — 29,8 = 75,8.

Die Scheidungskraft Zink | Eisen ist aber, direkt bestimmt = 74,7, also fast genau so gross, wie die der obigen Combination. Die kleine Abweichung ist durch die Ungenauigkeit der Zahlen erklärlich, welche bei der Schwierigkeit dieser Bestimmungen nicht zu umgehen ist.

Ganz dasselbe Verhalten zeigen alle anderen Combinationen der obigen Metalle zu je dreien. Und dasselbe zeigt sich auch, wenn man noch mehr Metalle auf einander legt. Es ist z. B. die elektrische Scheidungskraft der Metalle Zink, Silber, Eisen, Gold, Kupfer über einander gelegt gleich:

Zink | Silber + Silber | Eisen + Eisen | Gold + Gold | Kupfer
= 105,6 — 29,8 + 39,7 — 12,7 = 102,8.

Die direkte Bestimmung für Zink | Kupfer giebt 100, also beinahe denselben Werth. Wir schliessen daraus das Gesetz:

Wenn man eine Reihe von verschiedenen Metallen auf einander legt, so ist die elektrische Scheidungskraft des ganzen Systems gleich der Scheidungskraft des ersten und letzten Metalles allein.

Dieses Gesetz nennt man das *Gesetz der Spannungsreihe.*

Die Erscheinung einer Elektricitätserregung bei dem Contakt zweier verschiedener Metalle ist aber nur ein specieller Fall einer viel allgemeineren Erscheinung. Es wird nämlich nicht nur bei der Berührung zweier *Metalle* Elektricität erzeugt, sondern überhaupt immer, wenn zwei verschiedene *leitende* Körper, feste Körper, Flüssigkeiten, auch Gase mit einander in Berührung kommen.

Legt man eine isolirte unelektrische Zinkplatte auf eine dünne Schicht reinen Wassers, das man etwa auf einer Glasplatte ausgebreitet hat, und hebt sie nachher ab, um sie am Elektrometer zu prüfen, so findet man, dass sie elektrisch geworden ist, und zwar negativ elektrisch. Ebenso wird eine Kupferplatte durch Berühren mit Wasser negativ

elektrisch und überhaupt ganz allgemein: ein jedes Metall, welches mit reinem Wasser in Berührung ist, wird negativ elektrisch. An der Berührungsstelle des Wassers und des Metalls entsteht ebenfalls wieder eine elektrische Scheidungskraft und diese bewirkt, dass das Metall negativ elektrisch wird, während das Wasser positiv elektrisch wird.

Ebenso wird ein jedes Metall bei Berührung mit Kalilauge negativ elektrisch, während die Kalilauge selbst positiv wird.

In anderen Flüssigkeiten, Schwefelsäure, Salpetersäure, Zinkvitriol u. s. w. werden einige Metalle positiv, andere negativ elektrisch. Die Flüssigkeit erhält dann natürlich immer den entgegengesetzten elektrischen Zustand.

Also auch an der Berührungsstelle eines Metalls und einer Flüssigkeit tritt eine elektrische Scheidungskraft auf, welche bewirkt, dass beide Körper, das Metall und die Flüssigkeit, elektrisch werden und eine bestimmte Differenz der Potentiale erhalten. Die Grösse der elektrischen Scheidungskraft ist auch wieder verschieden für die verschiedenen Metalle und Flüssigkeiten. Es ist aber hier ausserordentlich schwer, sichere Zahlen für die Grösse der Scheidungskraft zu bekommen. Denn bringt man eine reine Metallplatte in Berührung mit einer Flüssigkeit, so findet in den meisten Fällen eine chemische Veränderung, ein chemischer Angriff des Metalls und der Flüssigkeit statt und die Bestimmung der Scheidungskraft fällt daher verschieden aus, je nachdem das Metall längere oder kürzere Zeit mit der Flüssigkeit in Berührung war. Einigermassen sichere Zahlen für die Grösse der elektrischen Scheidungskraft zwischen Metallen und Wasser sind die folgenden, die auch wieder auf Zink | Kupfer = 100 reducirt sind.

Reines Zink | Wasser = — 61,6
„ Kupfer | Wasser = — 33,0
„ Silber | Wasser = — 17,0
„ Gold | Wasser = — 33,7
„ Platin | Wasser = — 44,7.

Dass die Zahlen alle negativ sind, drückt aus, dass alle Metalle bei der Berührung mit Wasser negativ elektrisch werden; am grössten ist die Scheidungskraft unter den obigen Combinationen bei der Berührung von Zink mit Wasser, am kleinsten bei der von Silber mit Wasser. Aus diesen Zahlen aber erkennt man sofort, dass das Wasser sich nicht in die oben angegebene Spannungsreihe einreihen lässt, *dass es nicht dem oben angeführten Spannungsgesetz folgt.* Denn nach diesem Spannungsgesetz müsste sein

Zink | Wasser + Wasser | Kupfer = Zink | Kupfer = 100,

während die eben angeführten Zahlen zeigen, dass

Zink | Wasser + Wasser | Kupfer = — 61,6 + 33,0 = — 28,6

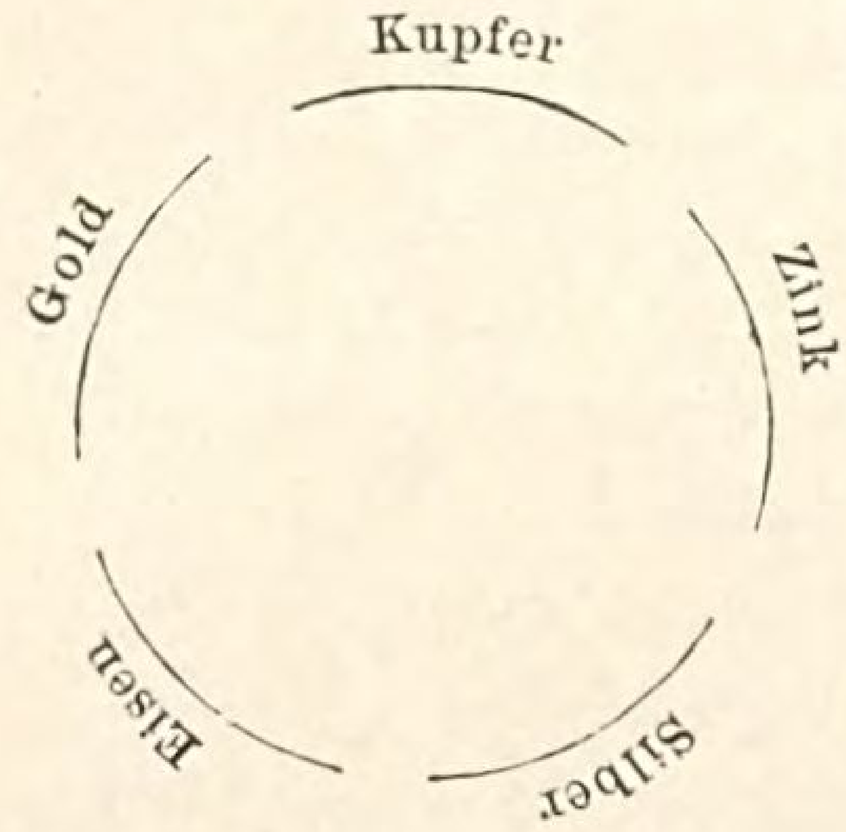
ist. Ebenso wie für Wasser kann man auch für andere Flüssigkeiten die Grösse der Scheidungskräfte bestimmen. *Bei allen Flüssigkeiten nun hat sich immer gezeigt, dass sie dem Gesetz der Spannungsreihe nicht folgen.* Es lässt sich keine Flüssigkeit in die Spannungsreihe so einordnen, dass die Scheidungskraft eines Systems von Metallen und einer Flüssigkeit gleich der Scheidungskraft der beiden Endglieder wäre.

Man theilt deshalb die leitenden Körper in zwei Klassen ein: in Leiter erster Klasse und Leiter zweiter Klasse.

Die Leiter erster Klasse sind diejenigen, welche dem Gesetz der Spannungsreihe folgen, also alle Metalle, einige Metallsuperoxyde, z. B. Braunstein, Bleisuperoxyd, ferner einige Schwefelverbindungen, wie Bleiglanz, Schwefelkies u. s. w.

Die Leiter zweiter Klasse sind diejenigen, welche dem Gesetz der Spannungsreihe nicht folgen, welche sich nicht mit den Leitern erster Klassse zusammen in eine Spannungsreihe ordnen lassen. Zu ihnen gehören die verdünnten Säuren, die Lösungen von Salzen und geschmolzene Salze.

Fig. 20.



Dieser Unterschied der Leiter erster und zweiter Klasse hat nun sehr wesentliche Folgen. Wir wollen uns zuerst eine Reihe von Metallen, von Leitern erster Klasse, denken und diese so an einander legen, dass sie einen ganz geschlossenen Kreis bilden. Nehmen wir z. B. Metallstreifen aus Kupfer, Zink, Silber, Eisen, Gold und ordnen wir diese in einem Kreise so an, dass sie diesen Kreis vollständig schliessen, wie in Fig. 20. Dann kann man jedes dieser Metalle, z. B. Kupfer, zu gleicher Zeit als das Anfangsglied und als das Endglied dieser Reihe betrachten, und nach dem Spannungsgesetz ist dann die Scheidungskraft in diesem ganzen geschlossenen Kreise gleich

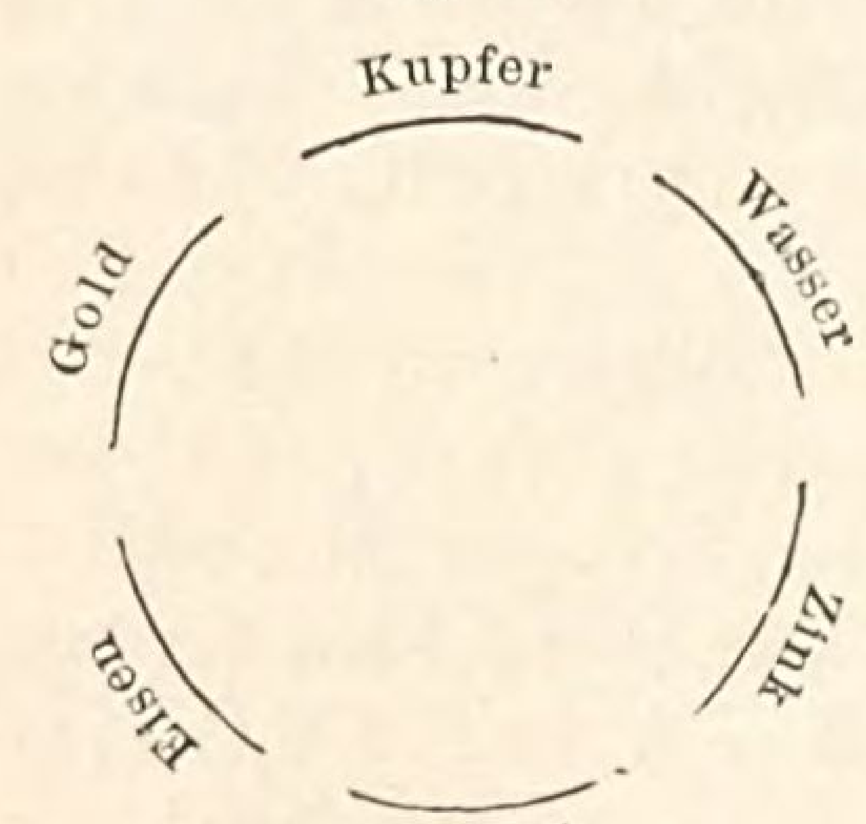
Kupfer | Kupfer = 0.

In der That, wenn wir die gesammte Scheidungskraft in diesem geschlossenen Kreise nach unseren Zahlen auf S. 37 und 38 berechnen, so haben wir

Kupfer | Zink + Zink | Silber + Silber | Eisen + Eisen | Gold + Gold | Kupfer
− 100 + 105,6 − 29,8 + 39,7 − 12,7

= 2,4. Diese Zahl 2,4, die sehr nahe an Null ist, ist nur durch die Ungenauigkeit der einzelnen Zahlen entstanden. Wären die Zahlen alle ganz genau, so würde die Summe aller Scheidungskräfte exakt den Werth 0 haben.

Fig. 21.



Es folgt also daraus: In einem vollständig geschlossenen Kreise von lauter Leitern erster Klasse ist die elektrische Scheidungskraft gleich Null. Die elektrische Scheidungskraft bewirkt aber, dass zwei sich berührende Metalle verschiedenes Potential haben. In einem geschlossenen Kreise, wo die Scheidungskraft Null ist, ist also das Potential überall dasselbe, d. h. die Elektricität ist im Gleichgewicht, in Ruhe.

Wenn wir aber nun in diesen Kreis an eine oder mehrere Stellen einen Leiter zweiter Klasse hineinbringen, so gilt dieses Gesetz offenbar nicht mehr, da sich die Leiter zweiter Klasse ja nicht in die Spannungsreihe einfügen lassen. Bringen wir z. B. in den obigen Kreis zwischen Kupfer

und Zink noch Wasser hinein, so dass wir jetzt den Kreis haben, wie in Fig. 21, so herrscht in diesem Kreise jetzt folgende Scheidungskraft

Kupfer | Wasser + Wasser | Zink + Zink | Silber + Silber | Eisen + Eisen | Gold + Gold | Kupfer
— 33,0 + 61,6 + 105,6 — 29,8 + 39,7 — 12,7
= 131,4.

Es ist also die elektrische Scheidungskraft in diesem ganz geschlossenen Kreise, in welchem Leiter erster und zweiter Klasse zusammen vorhanden sind, durchaus nicht gleich Null, sondern sie hat vielmehr einen ganz erheblichen Werth.

Wir haben daher das Gesetz gefunden: *In einem vollständig geschlossenen Kreise, der aus Leitern erster* **und** *zweiter Klasse besteht, ist die elektrische Scheidungskraft nicht Null.*

Aus diesem Gesetz werden sich ausserordentlich wichtige Thatsachen ergeben. Vorher aber können wir die Grösse der in einem solchen Kreise herrschenden Scheidungskraft noch einfacher darstellen.

Wir hatten zur Berechnung der Grösse der elektrischen Scheidungskraft in einem solchen Kreise eine ganze Menge Metalle und eine Flüssigkeit, Wasser, genommen. Die vielen Metalle beeinflussen aber, wie man sofort übersieht, den Werth der resultirenden elektrischen Scheidungskraft gar nicht, diese Grösse hängt vielmehr nur davon ab, welche zwei Metalle mit dem Wasser in Berührung sind. Denn wir haben mit dem Wasser in Berührung blos die beiden Metalle Kupfer und Zink. Diese geben uns die Scheidungskraft

Kupfer | Wasser + Wasser | Zink,

ausserdem ist das Zink mit dem Kupfer durch eine ganze Reihe von sich berührenden Metallen verbunden: Zink, Silber, Eisen, Gold, Kupfer. In dieser rein metallischen Reihe gilt aber das Gesetz der Spannungsreihe, so dass wir haben

Zink | Silber + Silber | Eisen + Eisen | Gold + Gold | Kupfer
= Zink | Kupfer.

Die gesammte Scheidungskraft in unserem obigen System von vielen Metallen und Wasser, mit welchem Zink und Kupfer in Berührung sind, ist also nun gleich

Kupfer | Wasser + Wasser | Zink + Zink | Kupfer
= — 33,0 + 61,6 + 100

= 128,6. Diese Zahl weicht von der oben gefundenen, 131,4, nur durch die Ungenauigkeit der angegebenen Werthe ab.

Daraus folgt also: *Bringt man zwei verschiedene Metalle A und B mit einer Flüssigkeit in Berührung und verbindet man sie andererseits durch eine beliebige Reihe von Metallen, so ist die elektrische Scheidungskraft in diesem geschlossenen Kreise ganz unabhängig von der Reihe von Metallen, durch welche man A mit B verbunden hat. Sie hängt nur ab von der Scheidungskraft der Metalle A und B unter einander und mit der Flüssigkeit. Ihre Grösse ist nämlich*

A | Flüssigkeit + Flüssigkeit | B + B | A.

Man wird also zwei Metalle, die man in eine Flüssigkeit getaucht hat, durch einen beliebigen Draht mit einander verbinden können und doch,

stets in dem ganzen geschlossenen Kreis von Leitern eine bestimmte Grösse der Scheidungskraft bekommen, welche allein abhängt von der Natur der Flüssigkeit und der beiden eingetauchten Metalle.

Was in einem solchen geschlossenen Kreis von leitenden Körpern vor sich geht, das erfordert eine eingehende Ueberlegung, die wir nach einigen Vorbereitungen anstellen werden.

Es wurde oben erwähnt, dass ein jedes Metall in Berührung mit Wasser negativ elektrisch wird, aber die verschiedenen Metalle in ungleichem Masse. Lässt man aber zu gleicher Zeit zwei Metalle in Wasser eintauchen, so muss nothwendiger Weise eine andere Vertheilung der Elektricitäten auf den Metallen eintreten.

Denken wir uns eine Zinkplatte und eine Kupferplatte frei, d. h. nicht durch einen Draht verbunden in Wasser eingetaucht. Die Zinkplatte wird durch die elektrische Scheidungskraft zuerst negativ elektrisch, bekommt also ein negatives, das Wasser wird positiv elektrisch, bekommt also ein positives Potential und die Scheidungskraft sucht diese Vertheilung immer beständig zu erhalten. In dem Wasser steht nun aber noch die Kupferplatte. Diese bekommt durch Leitung aus dem positiv gewordenen Wasser positive Elektricität, so dass sie ein positives Potential hätte. Ausserdem aber bekommt sie in Folge ihrer elektrischen Scheidungskraft gegen das Wasser auch negative Elektricität. Jedenfalls wird also durch die Anwesenheit des Zinks das negative Potential des Kupfers, welches durch die elektrische Scheidungskraft eintreten würde, vermindert. Ja noch mehr; da die elektrische Scheidungskraft zwischen Zink und Wasser grösser ist als die Scheidungskraft zwischen Kupfer und Wasser, so überwiegt das vom Wasser herrührende positive Potential das durch die Scheidungskraft hervorgebrachte negative des Kupfers und das Resultat ist, dass die Kupferplatte ein positives Potential besitzt. Für die Zinkplatte gilt das Umgekehrte. Sie bekommt durch ihre elektrische Scheidungskraft ein negatives Potential. Das Wasser aber, mit dem sie in Berührung ist, hat durch die gleichzeitige Berührung mit dem Kupfer ein geringeres positives Potential erhalten. Das Resultat ist also, dass auf der Zinkplatte negatives Potential bleibt. Von den beiden Metallen wird das Zink allein gegen Wasser stärker negativ elektrisch, als das Kupfer allein. Bringt man nun Kupfer und Zink zusammen in Wasser, so bleibt das stärker negative Zink noch negativ elektrisch, während das schwächer negative Kupfer dadurch positiv elektrisch wird. Was von Zink und Kupfer gilt, gilt von allen Metallen. Wir haben demnach den Satz gefunden: Bringt man zwei Metalle in eine Flüssigkeit, so wird das eine Metall negativ elektrisch, das andere positiv elektrisch, und zwar bleibt immer das Metall, das durch seine eigene Scheidungskraft stärker negativ elektrisch würde, auch in diesem Falle negativ.

Wir hatten oben die Scheidungskräfte einiger Metalle gegen Wasser angeführt. Es war Zink | Wasser = — 61,6, Kupfer | Wasser = — 33,0, Silber | Wasser = — 17,0, Gold | Wasser = — 33,7, Platin | Wasser = — 44,7. Danach wird von allen diesen Metallen das Zink am stärksten negativ bei der Berührung mit Wasser. Bringt

man also Zink und irgend ein anderes von den obigen Metallen in Wasser, so wird immer das Zink negativ elektrisch.

Diese Folgerung aus den angeführten Sätzen wird nun durch das Experiment bestätigt. Stellt man Zink und ein anderes Metall in Wasser, isolirt die ganze Einrichtung und untersucht man an einem Quadrantelektrometer die Art der Elektricität auf dem Zink und auf dem zweiten Metall, so findet man, dass das Zink negativ elektrisch ist, das andere Metall positiv. In einer und derselben Flüssigkeit werden mithin alle Metalle sich in eine Reihe so ordnen lassen, dass stets das vorhergehende Metall in der Flüssigkeit negativ elektrisch wird, das folgende positiv. Man nennt eine solche Reihe: die Spannungsreihe der Metalle in der betreffenden Flüssigkeit. Natürlich wird für verschiedene Flüssigkeiten auch die Reihe der Metalle verschieden sein. So hat man z. B. gefunden, dass in Wasser die Spannungsreihe der Metalle ist

Zink, Blei, Zinn, Eisen, Antimon, Wismuth, Kupfer, Silber, Gold.

Taucht man also z. B. Blei und Eisen zu gleicher Zeit in Wasser, so wird das Blei sich am Elektrometer negativ elektrisch zeigen, das Eisen positiv. Taucht man aber Eisen und Gold zugleich ein, so wird sich das Eisen negativ, das Gold positiv zeigen.

In verdünnter Schwefelsäure ist die Spannungsreihe der Metalle nach Poggendorff's Untersuchungen die folgende:

Zink, Cadmium, Eisen, Zinn, Blei, Aluminium, Nickel, Antimon, Wismuth, Kupfer, Silber, Platin,

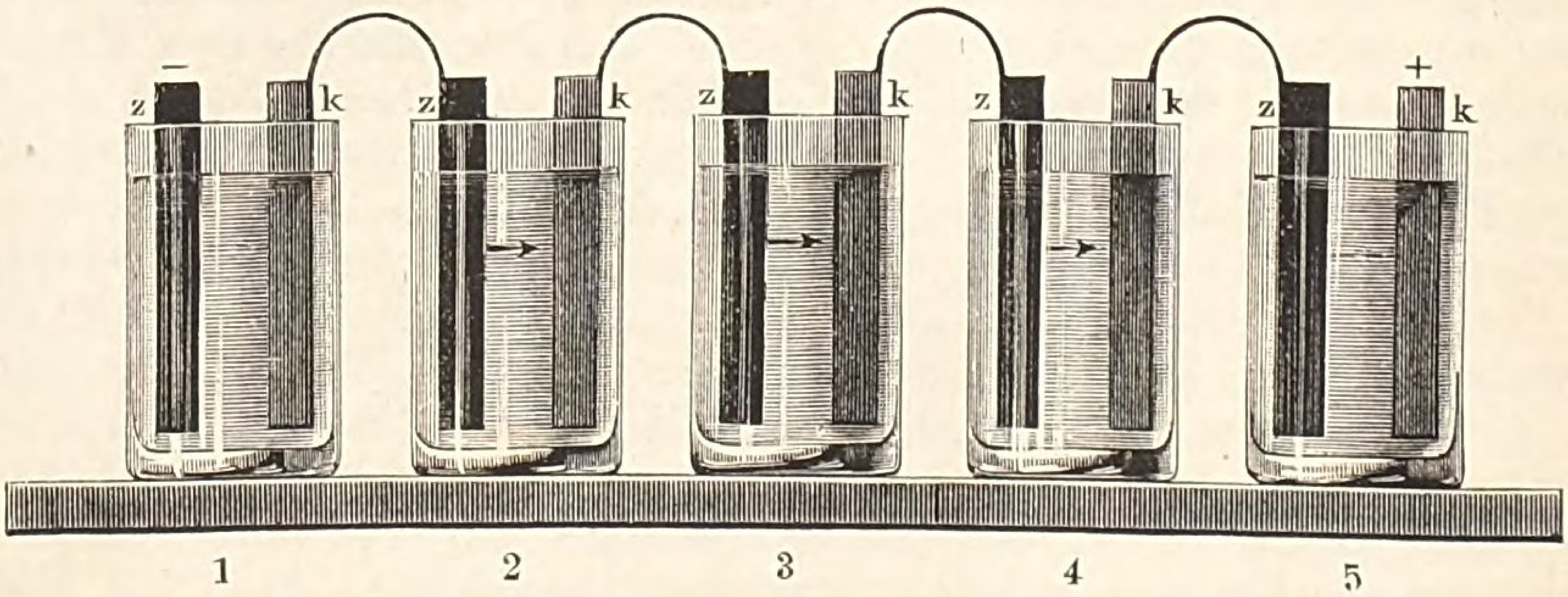
und so sind für alle Flüssigkeiten diese Reihen mehr oder minder verschieden.

Nehmen wir die beiden Metalle Zink und Kupfer und als Flüssigkeit Wasser, so herrscht in diesem System eine bestimmte Scheidungskraft, d. h. die Potentiale der beiden Metalle sind um eine bestimmte Grösse verschieden, wie gross oder wie klein auch die wirklichen Werthe der Potentiale sein mögen. Es betrage z. B. diese Potentialdifferenz 1 Volt; dann wird, wenn das System isolirt ist, d. h. beide Metalle und die Flüssigkeit ohne leitende Verbindung mit der Erde oder mit anderen Elektricitätsquellen sind, das Potential auf dem Kupfer $^1/_2$ Volt, das auf dem Zink $- \, ^1/_2$ Volt sein, so dass ihre Differenz gleich 1 Volt ist. Ist dagegen z. B. das Zink zur Erde abgeleitet, also auf dem Potential Null, so ist das Potential des Kupfers = 1 Volt, denn immer muss das Potential des Kupfers um die bestimmte Grösse (1 Volt) höher sein, als das des Zinks. Ist das Kupfer zur Erde abgeleitet, also auf dem Potential Null, so muss das Zink das Potential — 1 Volt haben. Wird andererseits das Zink z. B. mit dem Conduktor einer Elektrisirmaschine in Verbindung gesetzt, der auf dem Potential 100 Volt ist, so wird es ebenfalls das Potential 100 Volt bekommen, aber das Potential auf dem Kupfer wird dann 101 Volt sein, so dass die Differenz wieder 1 Volt ist. Stellen wir also z. B. einen Zinkstab und einen Kupferstab in ein Glas mit Wasser und verbinden wir den Zinkstab mit der Erde, so hat der Kupferstab das Potential 1 Volt, und ebenso bekommen alle leitenden Körper, die wir mit dem Kupferstab verbinden und sonst isolirt lassen, das Potential 1 Volt.

Verbinden wir also z. B. den Kupferstab unseres Glases mit dem Zinkstab eines zweiten Glases, in welchem auch ein Zinkstab und ein Kupferstab in Wasser tauchen, so wird der Zinkstab des zweiten Systems das Potential 1 Volt von dem ersten Kupferstab bekommen. Ausserdem aber muss das Kupfer des zweiten Systems wiederum ein um 1 Volt höheres Potential haben, als das Zink dieses Systems, folglich wird auf dem Kupferstab des zweiten Systems das Potential 2 Volt herrschen. Setzen wir ebenso mit diesem zweiten Kupferstab das Zink eines dritten Systems in Verbindung, so wird dessen Kupfer das Potential 3 Volt haben u. s. f. Verbindet man also in der angegebenen Weise eine beliebige Anzahl, etwa 10 gleiche Systeme, so wird die Potentialdifferenz der Endglieder zehnmal so gross sein, als die in jedem einzelnen System. Zehn von unseren Systemen in der angegebenen Weise verbunden haben also die Potentialdifferenz 10 Volt an ihren Endgliedern. Sind alle Systeme isolirt, so wird also das erste Zink das Potential — 5 Volt haben, das letzte Kupfer das Potential + 5 Volt. Ein solches System aus 5 Gliedern bestehend, ist in Fig. 22 gezeichnet.

Eine Combination aus einer oder mehreren Flüssigkeiten und zwei Metallen nennt man ein g a l v a n i s c h e s E l e m e n t. In jedem galvanischen Element haben also die beiden Metalle eine bestimmte Differenz der Potentiale, welche nur abhängt von der N a t u r der beiden Metalle und der Flüssigkeit, nicht von der Grösse und Form der Metalle oder der Menge der Flüssigkeit. Man bezeichnet diese bestimmte Potentialdifferenz als e l e k t r o m o t o r i s c h e K r a f t. Ein jedes galvanische Element hat also eine bestimmte elektromotorische Kraft. Bildet man eine Reihe von galvanischen Elementen so, dass man immer das positive Metall des einen Elements mit dem negativen des nächsten durch einen Draht verbindet, so nennt man eine solche Reihe eine K e t t e, oder auch besser eine hinter einander verbundene Kette. In Fig. 22 ist eine solche Kette aus 5 Elementen gezeichnet. Je zwei

Fig. 22.



Elemente sind immer so verbunden, dass das Kupfer k des einen mit dem Zink z des nächsten zusammenhängt. Nur die beiden letzten Metalle sind frei. Man nennt die beiden unverbundenen Metalle die P o l e der Kette, ebenso wie man auch bei einem einzelnen Element

die Enden der beiden Metalle die Pole des Elements nennt. Die in Fig. 22 gezeichnete Kette hat eine fünfmal so grosse elektromotorische Kraft, als jedes einzelne Element derselben.

Wir hatten bisher gesehen, dass jedes Metall bei Berührung mit einer Flüssigkeit elektrisch wird. Es lassen sich daher auch Elemente bilden, bei denen nicht die beiden Metalle in einer einzigen Flüssigkeit stehen, wie wir es bis jetzt angenommen haben, sondern bei denen jedes Metall in eine besondere Flüssigkeit taucht, aber die Flüssigkeiten doch in leitender Verbindung sind. Auch hierbei wird das eine Metall positiv elektrisch, das andere negativ, und auch ein solches Element hat eine ganz bestimmte elektromotorische Kraft, welche nur abhängt von der Natur seiner Metalle und seiner Flüssigkeiten. Solche Elemente, mit zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten werden aus später sich ergebenden Gründen besonders häufig benutzt und wir werden deshalb einige von ihnen beschreiben.

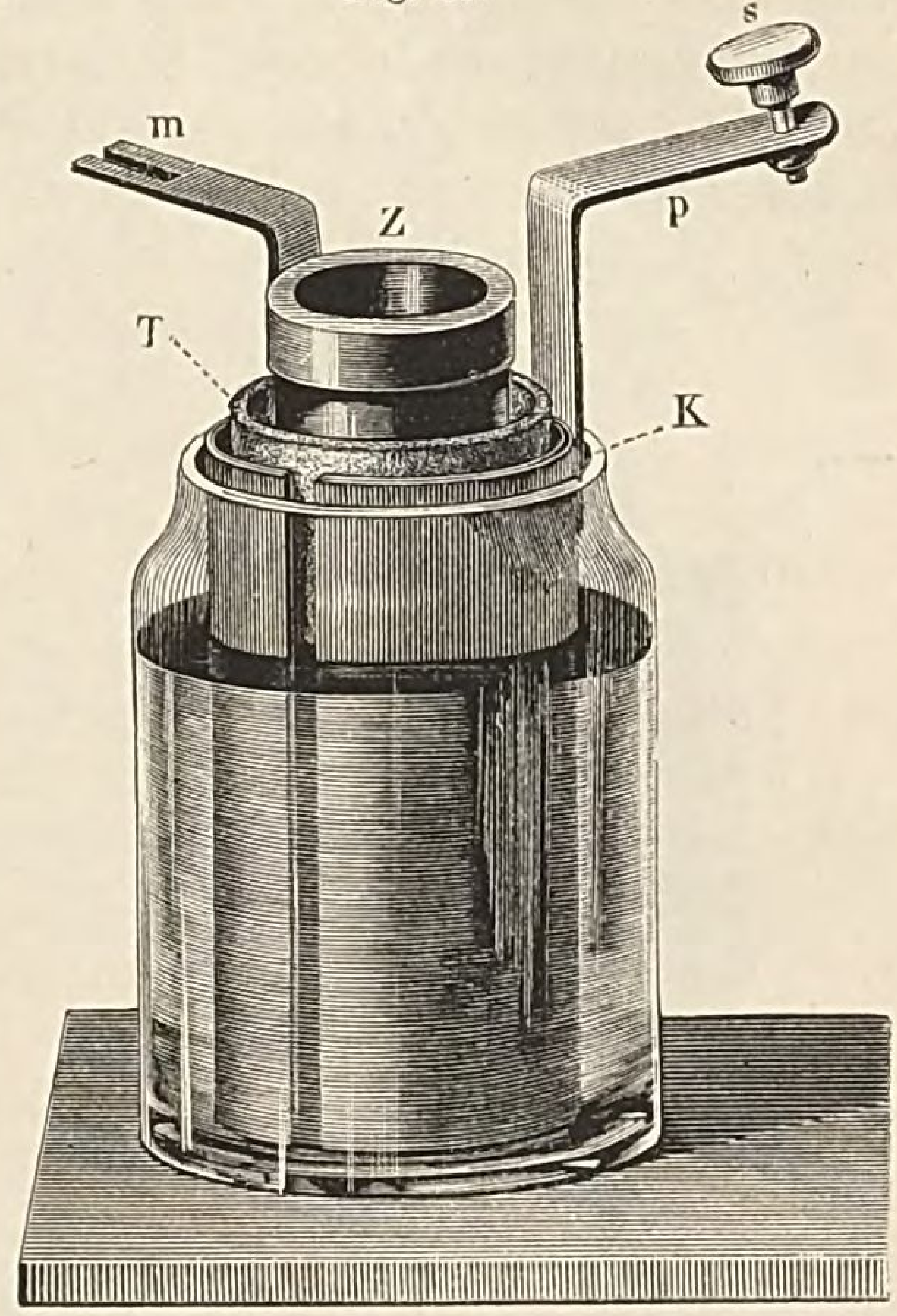


Fig. 23.

Bei dem Daniell'schen Element (Fig. 23) sind die beiden Metalle Zink und Kupfer. Das Kupfer taucht in Kupfervitriol, das Zink in verdünnte Schwefelsäure. Damit die beiden Flüssigkeiten sich nicht mit einander sofort vermischen, aber sich doch berühren können, so dass eine Leitung zwischen ihnen stattfindet, sind sie durch einen porösen Cylinder aus Thon getrennt. In ein Glas wird Kupfervitriol-Lösung gegossen und der Kupfercylinder K hineingestellt. In diesen wird dann der Thoncylinder T gesetzt und dieser wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, in welche dann der Zinkcylinder Z eingesetzt wird. An den Zinkcylinder ist der Streifen m, an den Kupfercylinder der Streifen p mit der Schraube s angelöthet. Diese nennt man speciell die Pole des Elements. Auf dem Zinkpol wird

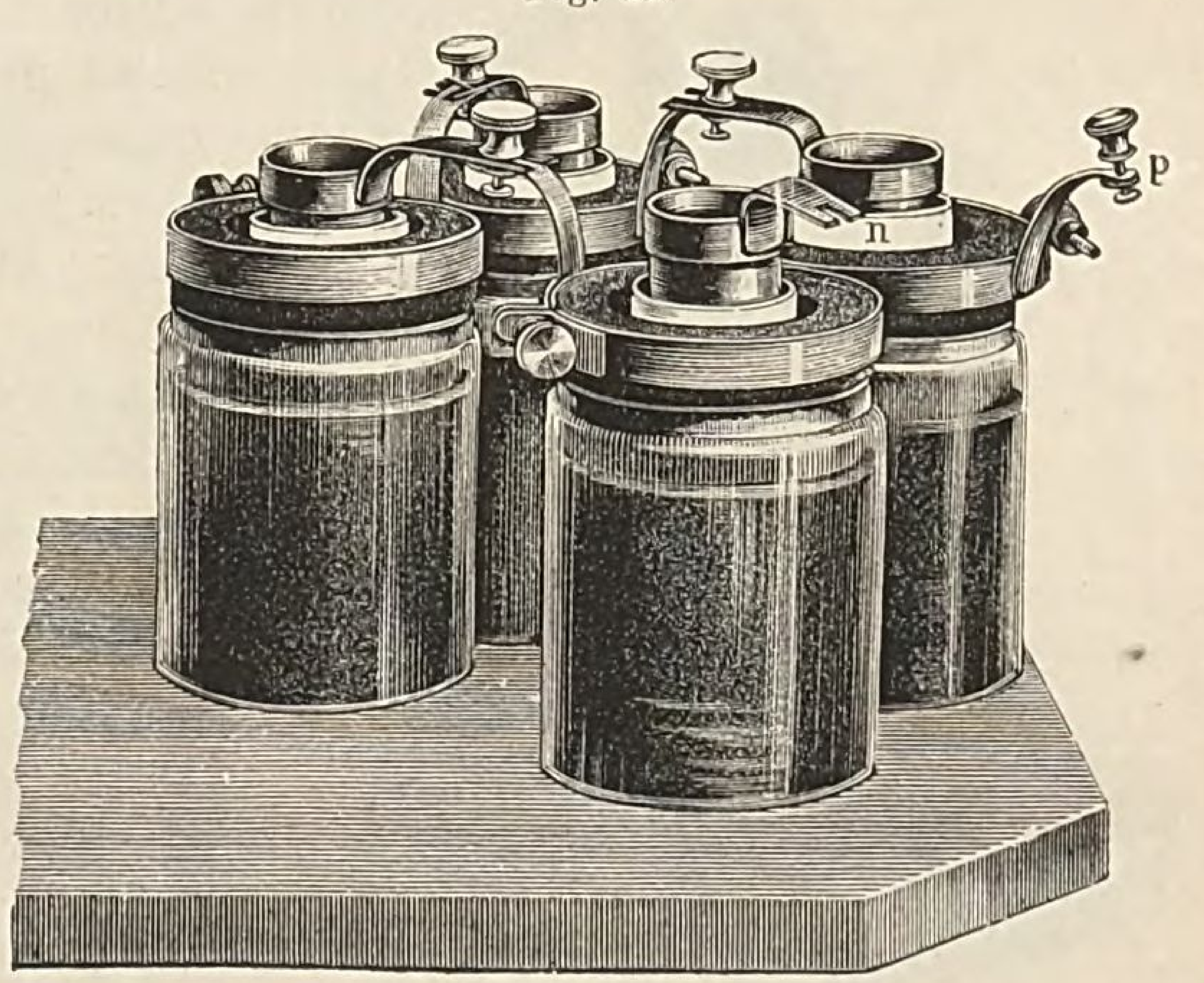


Fig. 24.

ein negatives Potential herrschen, auf dem Kupferpol ein positives. Die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes ist ungefähr gleich 1 Volt, nur etwa 5 bis 10 % kleiner. Will man mehrere Elemente in der vorhin beschriebenen Weise zu einer Kette verbinden, so kann man das leicht, indem man den Streifen m des einen Elementes durch die Schraube s mit dem Streifen p des anderen Elementes verbindet. Die Fig. 24 zeigt eine solche Kette aus vier Elementen von etwas anderer Form.

Fig. 25.

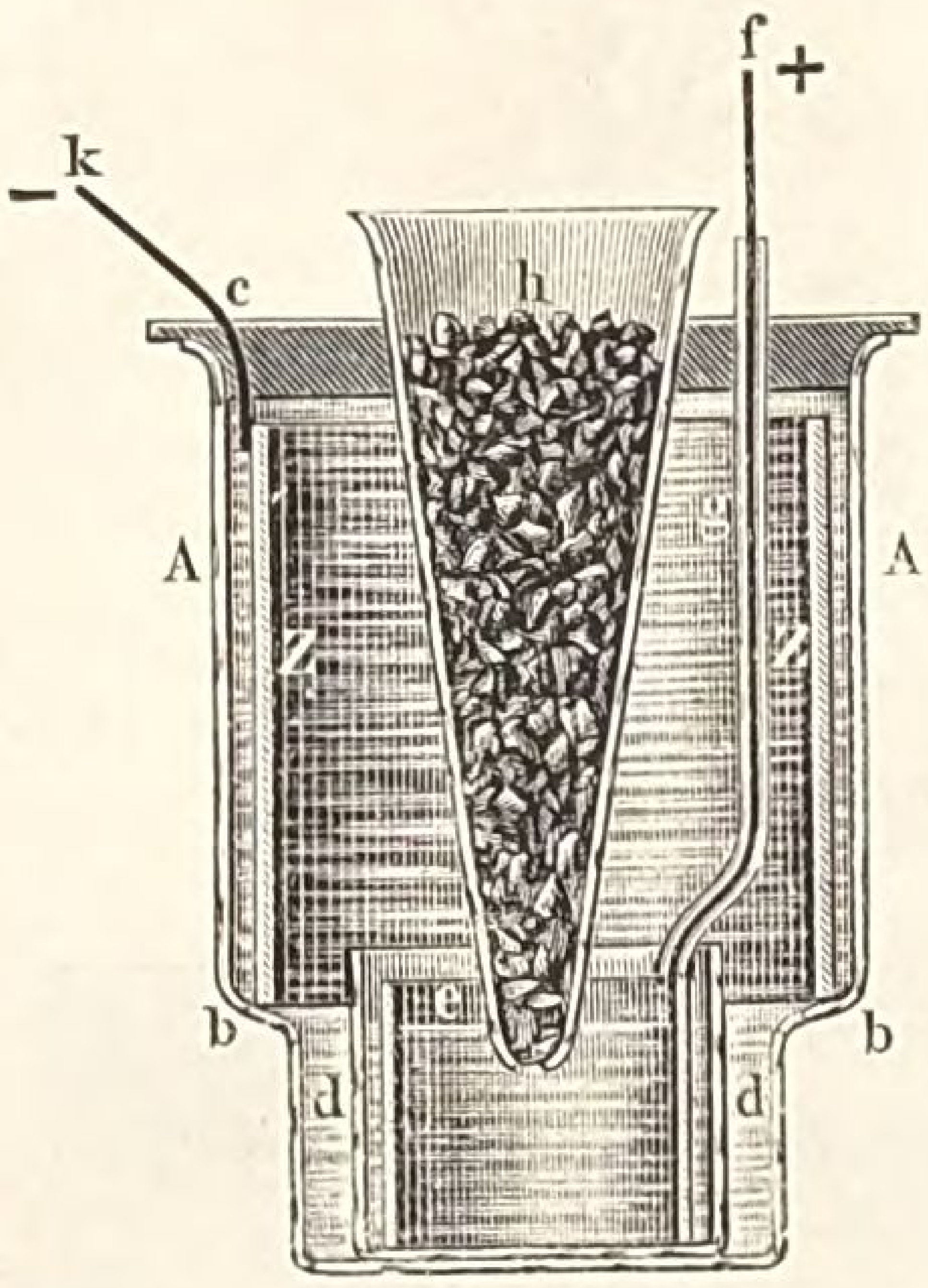
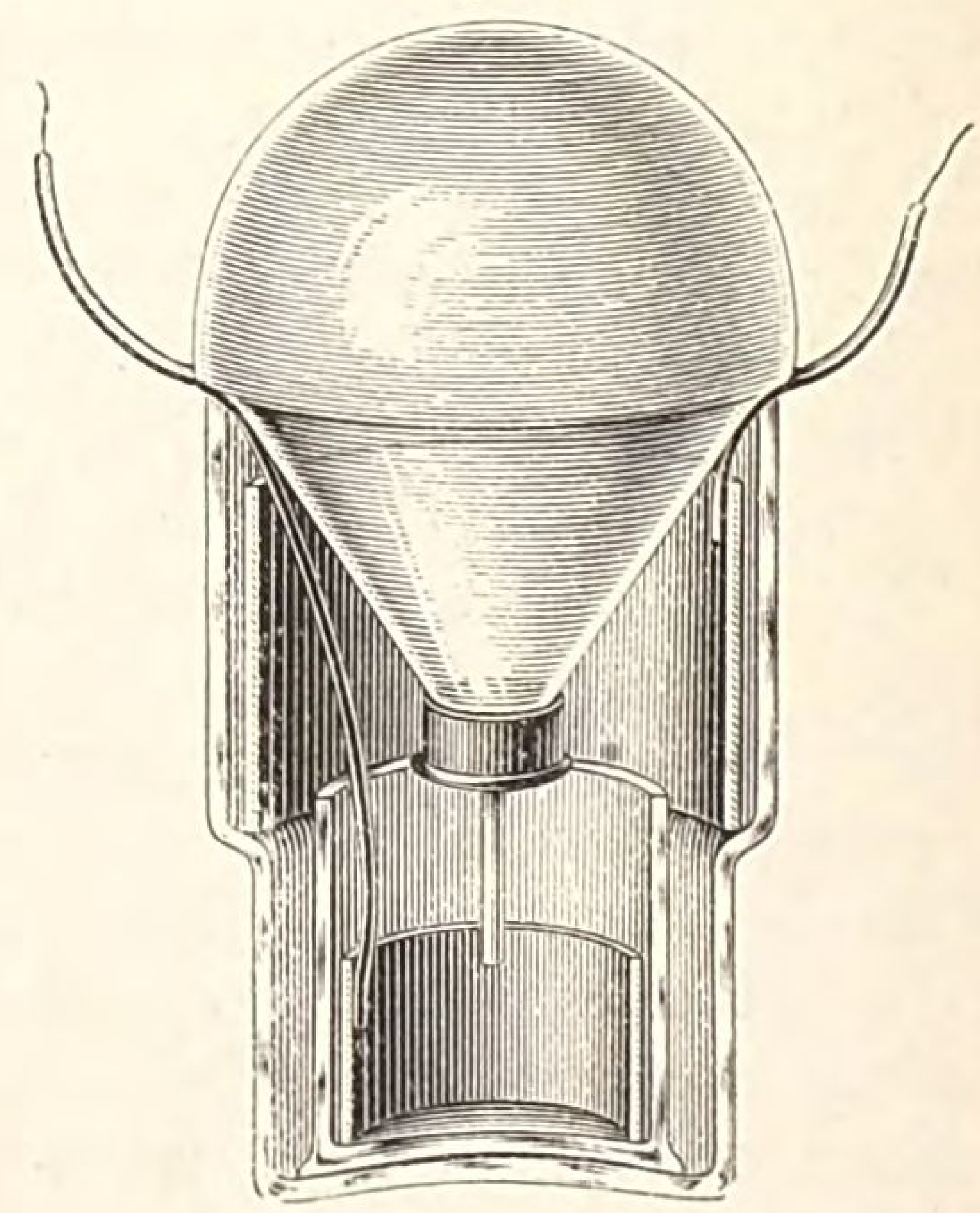
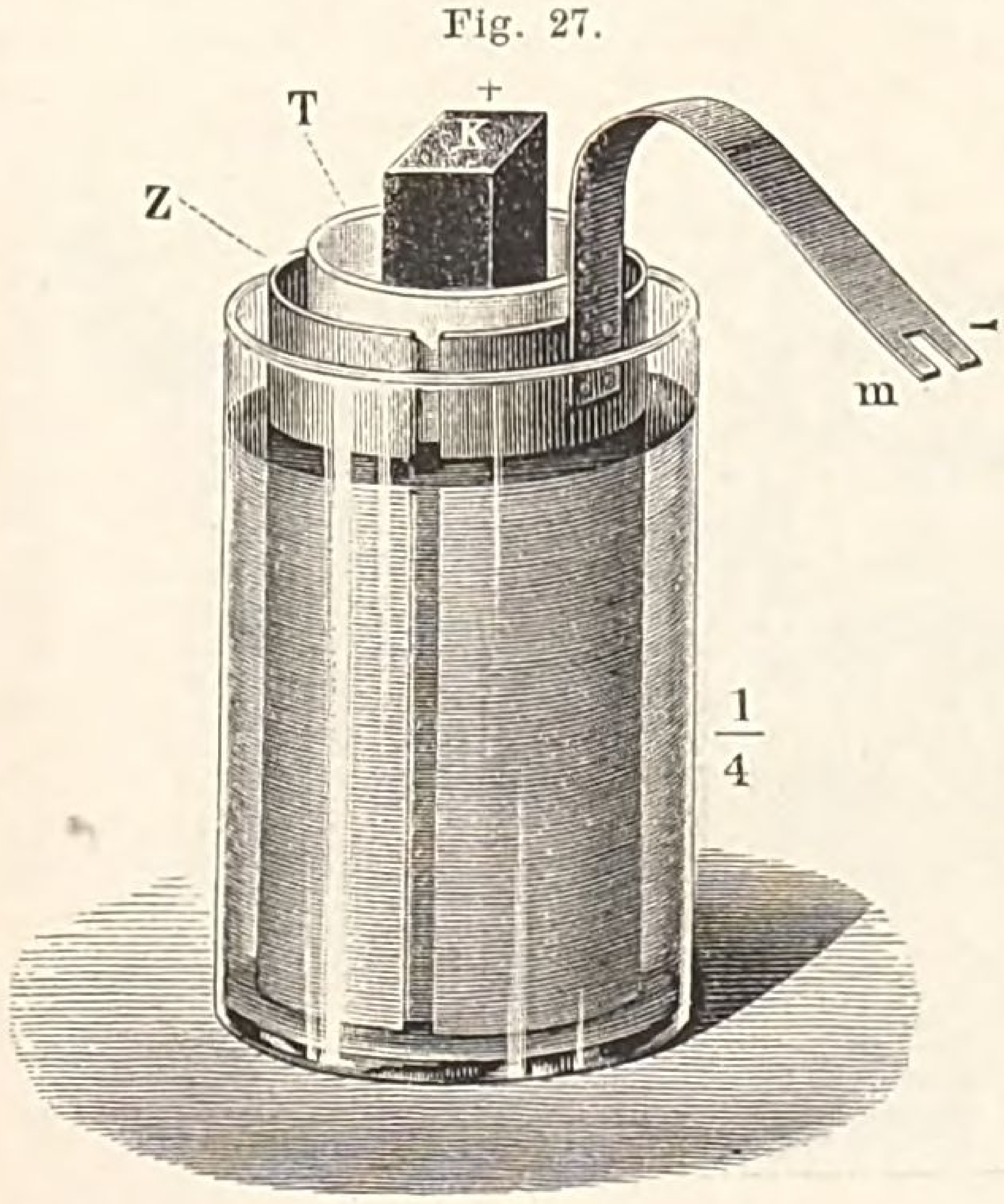


Fig. 26.



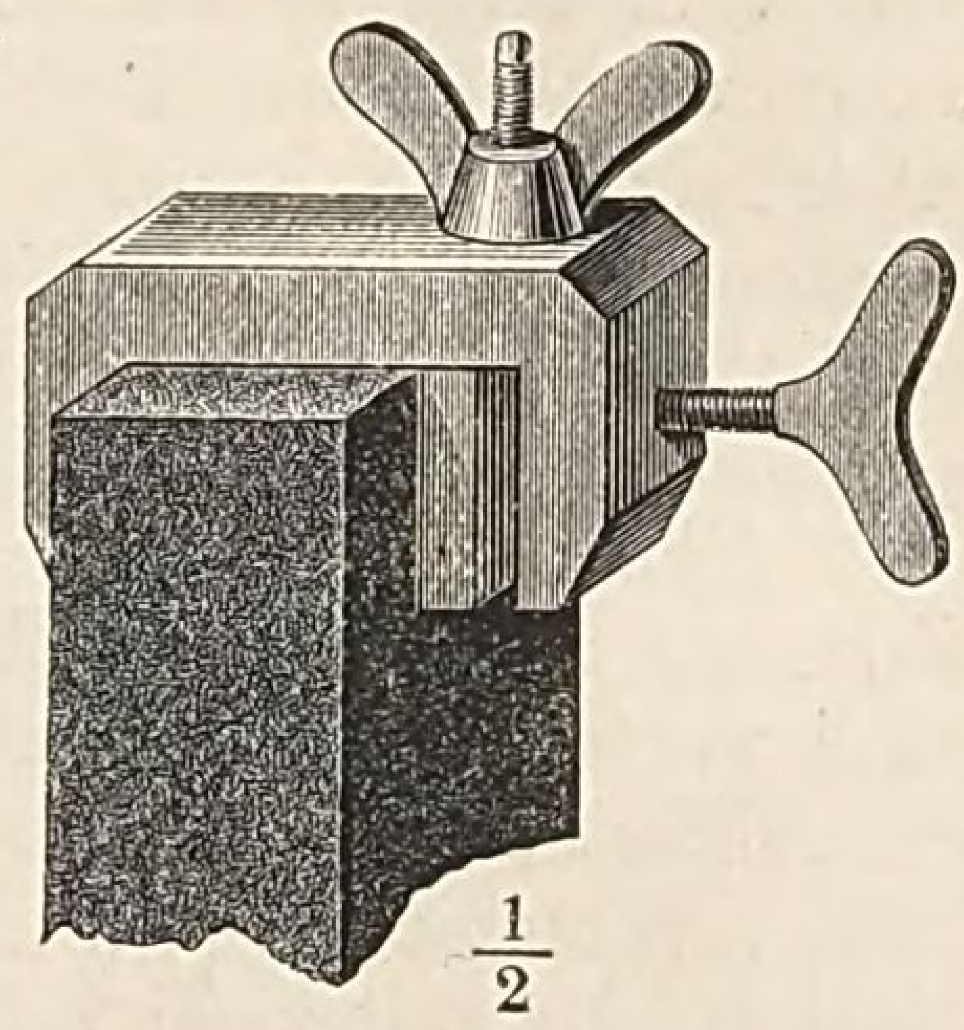
In ähnlicher Weise gebildet wie das Daniell'sche ist das Meidinger'sche Element, das in der Telegraphie sehr viel benutzt wird, und von dem Fig. 25 einen Durchschnitt giebt. Auch in diesem werden Kupfer und Zink als Metalle benutzt, als Flüssigkeiten aber Kupfervitriol und Bittersalz, und durch die Form des Elements ist die Anwendung einer Thonzelle vermieden. In dem bei b etwas eingebogenen Glase A steht ein Zinkcylinder Z Z. Im Inneren von A ist ein kleines Glas d angekittet, in welchem der Kupfercylinder e sich befindet. Durch den Holzdeckel des Glases A geht ein mit Kupfervitriolkrystallen gefüllter Glastrichter h, dessen unterer Theil in d hineinreicht und dort eine kleine Oeffnung hat. Das Glas A ist nun mit verdünnter Bittersalzlösung gefüllt. Die concentrirte Kupfervitriollösung sammelt sich unten am Kupferblech und dringt nur langsam höher hinauf. Von dem Kupferblech geht ein mit einer Glasröhre oder mit Guttapercha umgebener Draht f nach oben, um als Pol zu dienen.

Fig. 27.



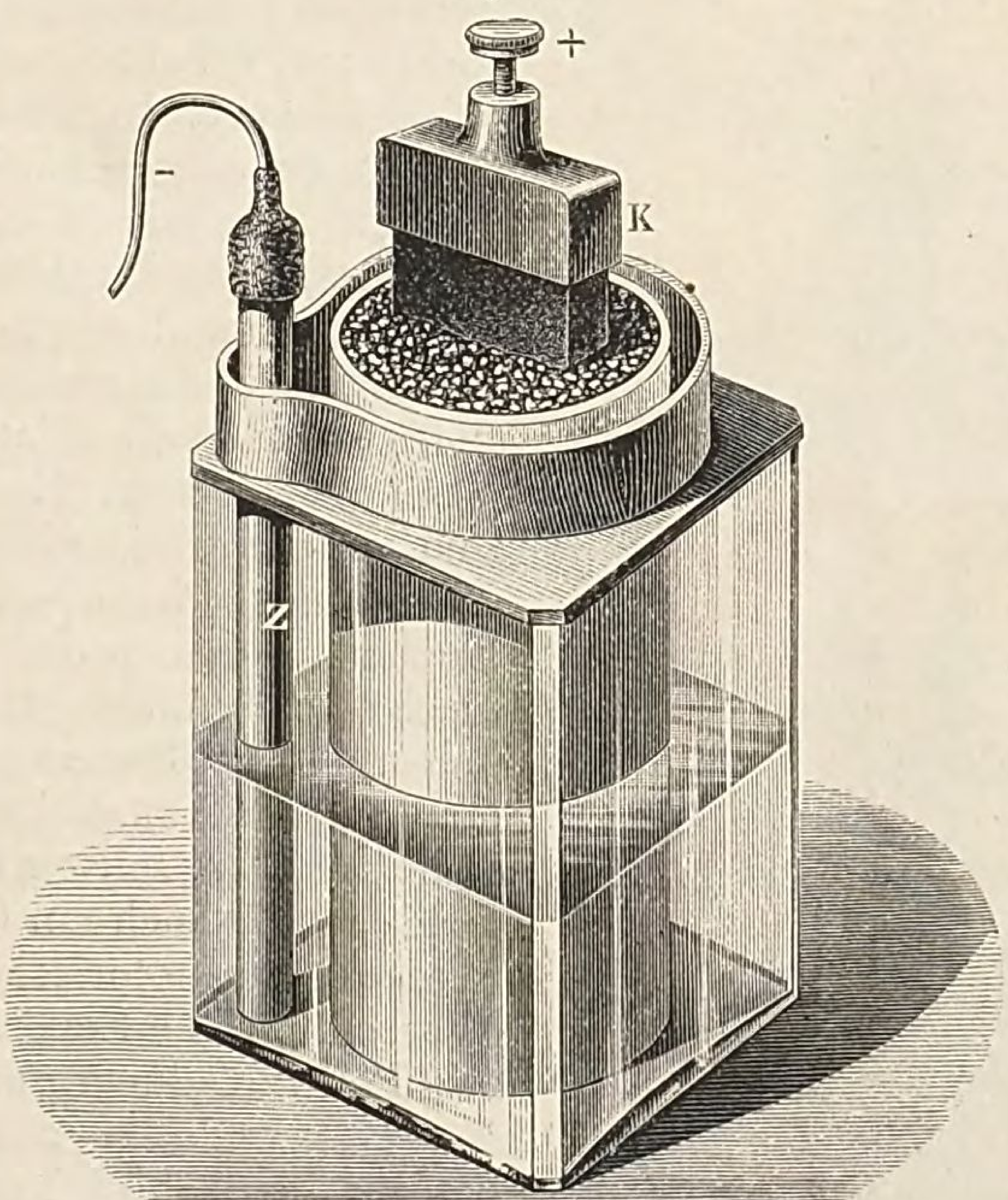
Bei neueren Formen des Elements, von denen Fig. 26 eine Abbildung giebt, ist der Glastrichter durch einen mit Kupfervitriolkrystallen und Wasser gefüllten Kolben ersetzt.

Fig. 28.



Ein anderes Element, das oft benutzt wird und das eine grössere elektromotorische Kraft hat, als das Daniell'sche, ist das Bunsen'sche Element. Es ist in seiner einfachsten Form in Fig. 27 abgebildet. Das eine Metall ist auch hier wieder Zink, das andere Metall ist durch Kohle ersetzt, welche sich ebenso wie ein Metall verhält. Das Zink taucht wieder in verdünnte Schwefelsäure, die Kohle aber in concentrirte Salpetersäure. In das Glas wird zuerst Schwefelsäure gegossen, dann der Zinkcylinder Z eingesetzt, in diesen der Thoncylinder T und in diesen Salpetersäure gegossen und die Kohle K hineingestellt. Wieder wird der Zinkpol negativ elektrisch, der Kohlenpol positiv elektrisch. Um mehrere Bunsen'sche Elemente mit einander zu

Fig. 29.



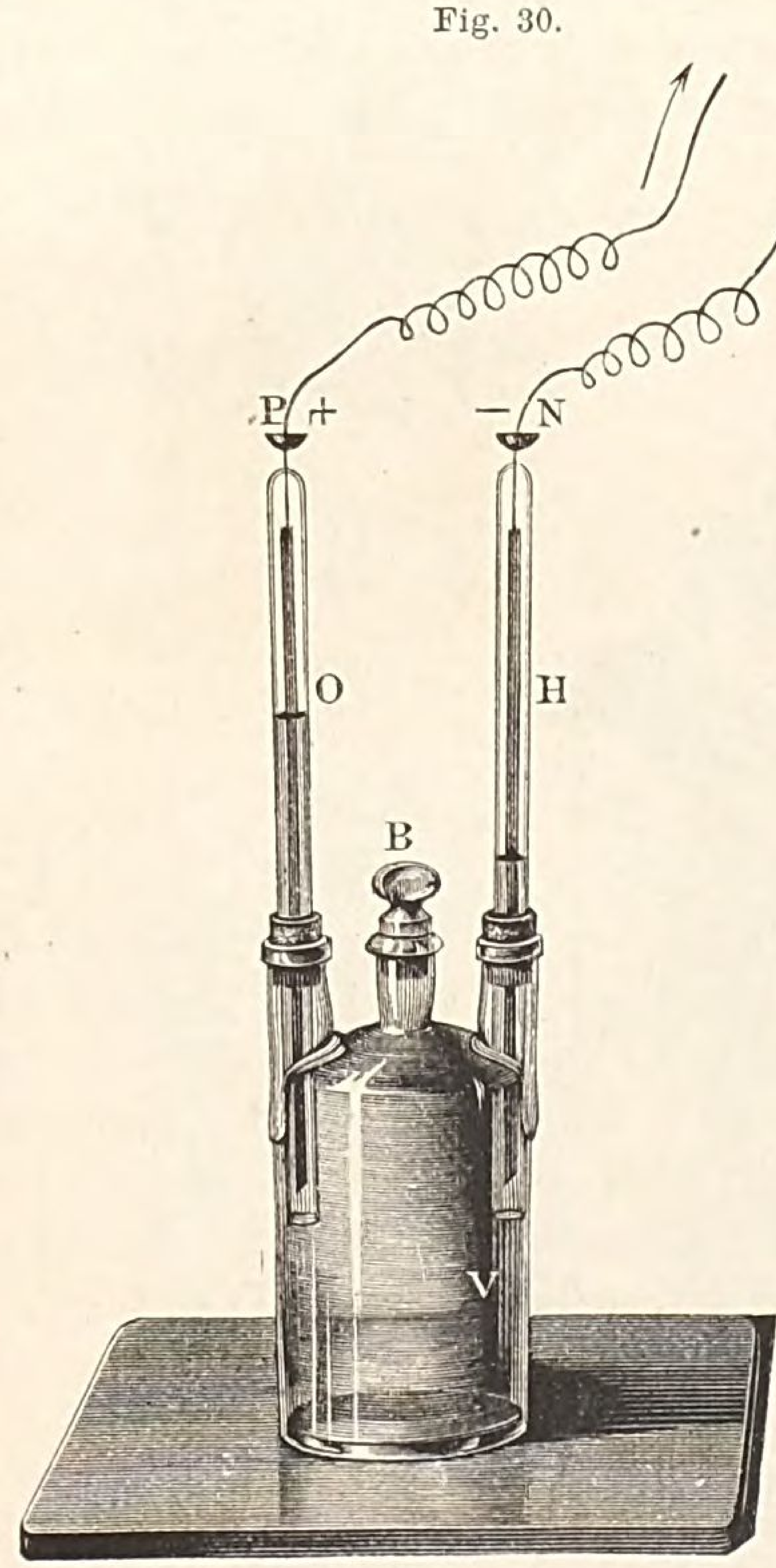
verbinden, wird an die Kohle eine metallene Klammer angeschraubt, wie Fig. 28 zeigt, und an diese der Streifen m von dem Zink des nächsten Elementes befestigt.

Dann, als viertes galvanisches Element führen wir endlich, weil

es in der Telephonie und bei elektrischen Klingeleinrichtungen fast allgemein benutzt wird, das Leclanché-Element an, von dem Fig. 29 eine Ansicht giebt. Auch in diesem sind, wie bei dem Bunsen'schen Element, die beiden Metalle Kohle und Zink. Aber die Kohle K, welche positiv elektrisch wird, steht in einer Thonzelle, die mit einem Gemisch von Braunstein und Kohle gefüllt ist. Die Zinkstange Z steht in Salmiaklösung. Es ist also bei diesem Element nur eine Flüssigkeit vorhanden. Man hat noch eine ganze Anzahl von anderen Elementen aus zwei Metallen und ein oder zwei Flüssigkeiten construirt. Die vier genannten sind aber die am meisten benutzten.

Ebenso wie zwei Metalle in einer Flüssigkeit eine Potentialdifferenz bekommen, haben auch zwei Platten aus gleichem Metall in zwei verschiedenen Flüssigkeiten verschiedenes Potential, da die Scheidungskraft zwischen einem bestimmten Metall und verschiedenen Flüssigkeiten verschieden ist. Aber auch zwischen zwei Platten desselben Metalls, die mit zwei verschiedenen Gasen in Berührung sind, herrscht eine Potentialdifferenz. Man kann dies aus einer Anordnung erkennen, die in Fig. 30 gezeichnet ist. In der Flasche V, die vermittelst Pfropfen zwei oben geschlossene Glasröhren O und H trägt, befindet sich verdünnte Schwefelsäure. In den beiden Röhren hängen an eingeschmolzenen Platindrähten (die mit N und P verbunden sind) zwei Platinbleche. Leitet man nun in die eine Röhre (O) Sauerstoff, in die andere (H) Wasserstoff, so dass die Platinbleche zum Theil von diesen Gasen umgeben sind, während sie mit ihren unteren Enden noch in die Schwefelsäure tauchen, so haben die beiden Platinbleche eine gewisse und zwar ziemlich erhebliche Potentialdifferenz, wie man am Quadrantelektrometer leicht erkennt. Ein solches System nennt man deshalb auch ein Gaselement. Seine elektromotorische Kraft ist bei Wasserstoff und Sauerstoff als Gasen und Platin als Metall ungefähr gleich $^9/_{10}$ Volt, während z. B., wenn statt des Platins Kohle angewendet wird, die elektromotorische Kraft ungefähr gleich 2,2 Volt ist.

Fig. 30.



Betrachten wir nun die Vorgänge in einem beliebigen galvanischen Element, z. B. in einem Daniell'schen. Auf dem Kupferpol ist positive Elektricität und positives Potential, auf dem Zinkpol negative Elektricität und negatives Potential vorhanden. Diese beiden Pole verhalten sich also

ganz so wie die beiden Conduktoren der Elektrisirmaschine, die wir früher betrachtet haben. Verbinden wir die beiden Pole durch einen Draht, so fliesst die Elektricität von dem einen Pol zum anderen über. Die Elektricitäten würden sich sofort ausgleichen und das Element würde unelektrisch werden, wenn nicht sofort durch die elektrische Scheidungskraft wieder neue Elektricitätsmengen erzeugt würden, die sich wieder ausgleichen u. s. f. Es entsteht also ein dauernder elektrischer Strom. Die Elektricität fliesst durch den Verbindungsdraht der beiden Pole von dem höheren Potential durch die Metalle und die Flüssigkeiten hindurch ununterbrochen fort. Bei dem Daniell'schen Element herrscht auf dem Kupferpol positives Potential. Die positive Elektricität fliesst also durch den Verbindungsdraht zum Zinkpol, dann aus dem Zink in die Schwefelsäure, aus der Schwefelsäure durch die mit Flüssigkeit erfüllten Poren der Thonzelle hindurch in das Kupfervitriol und von diesem in das Kupfer zum Kupferpol zurück. Dauernd aufrecht erhalten wird der Strom durch die elektrische Scheidungskraft, welche für jede ausgeglichene Elektricitätsmenge gleich wieder neue erzeugt. Wir könnten ebenso gut auch sagen, die negative Elektricität fliesst von dem Zink durch den Verbindungsdraht zum Kupfer, dann aus dem Kupfer durch die Flüssigkeiten zurück zum Zinkpol. Das ist rein Sache der Bequemlichkeit. In dem einen Fall hat der elektrische Strom die entgegengesetzte Richtung wie im anderen. Man bezeichnet aber die Richtung, in der die positive Elektricität fortgeführt wird, kurzweg als die Richtung des Stromes. In etwas einfacherer Form ist die Richtung des (positiven) Stromes in einem Element in Fig. 31 dargestellt. Durch den Verbindungsdraht fliesst der positive Strom vom Kupfer zum Zink und durch die Flüssigkeit vom Zink zum Kupfer zurück.

Fig. 31.



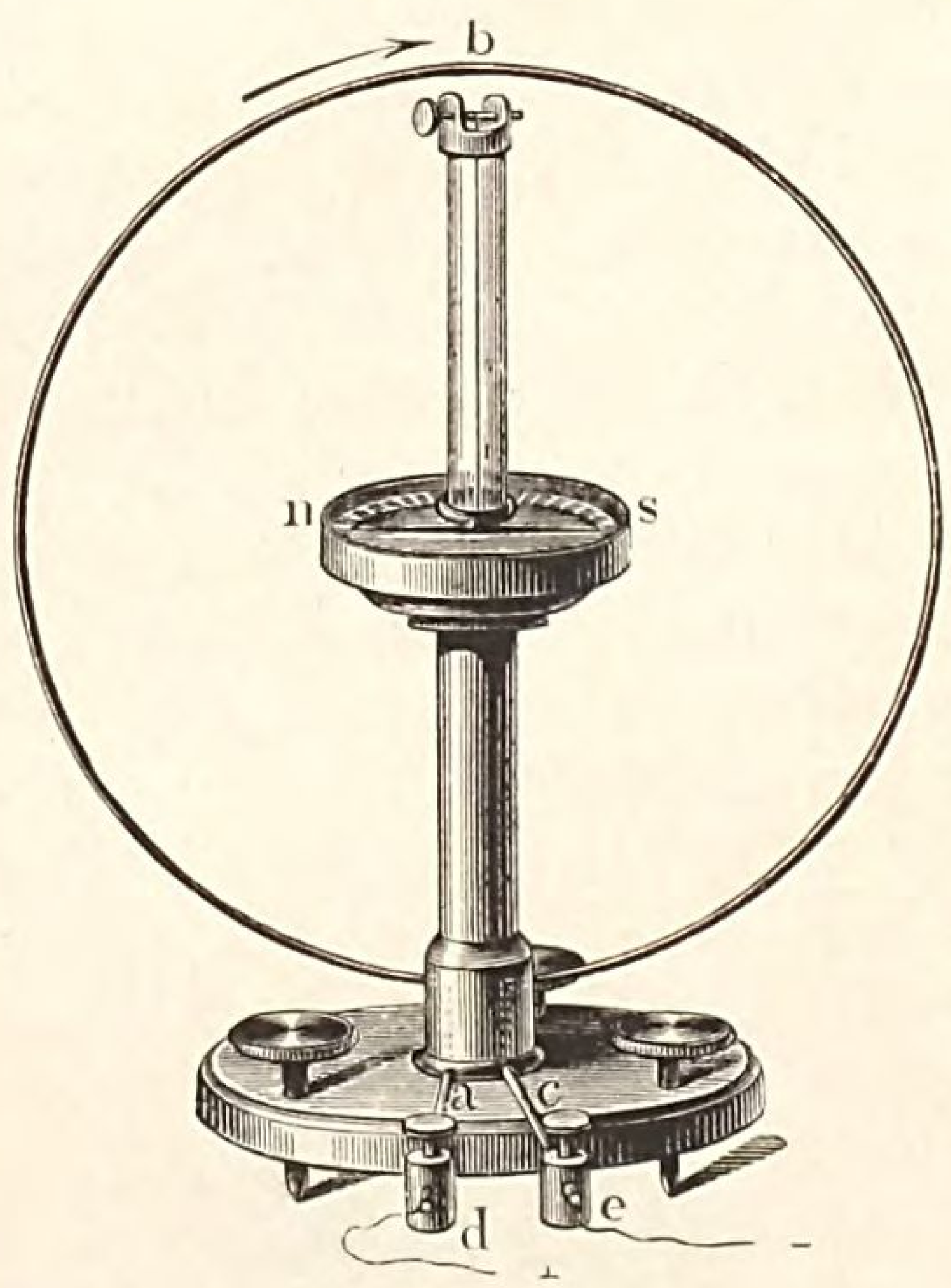
Wir hatten schon oben bei dem Strom, der zwischen den Conduktoren einer Elektrisirmaschine fliesst, einige Wirkungen desselben gefunden. Insbesondere hatte sich gezeigt, dass der Draht, durch welchen der Strom fliesst, erwärmt wird. Diese Thatsache konnten wir damals nur mit Hülfe eines empfindlichen Instruments, des Riess'schen Luftthermometers, beobachten. In unserem jetzigen Falle ist diese Erwärmung, aus später einleuchtenden Gründen, eine viel stärkere. Nehmen wir als Verbindungsdraht in Fig. 31 einen dünnen, kurzen Draht, so wird dieser durch den Strom so warm, dass man leicht mit der Hand die höhere Temperatur merken kann. Ja, wenn man die in Fig. 22 gezeichnete Kette durch einen dünnen Draht verbindet, so kommt dieser Draht ins Glühen und schmilzt sogar weg.

Ferner hatten wir damals auf ziemlich umständlichem Wege gefunden, dass der Strom zwischen den beiden Conduktoren einer Elektrisirmaschine auf eine Magnetnadel, um die er herumgeführt wird, ein Ablenkung ausübt. Die Ströme, die wir jetzt haben, zeigen diese Wirkung in viel höherem Grade. Wir bedienen uns, um vorläufig nur

qualitativ diese Ablenkung zu zeigen, des Apparates Fig. 32, den man eine Tangentenbussole nennt.

Der Apparat besteht im Wesentlichen nur aus einer Magnetnadel n s, die an einem Faden aufgehängt ist, und aus einem vertikalen Draht b, der im Kreise um die Nadel herumgeführt ist. Die Enden dieses Drahtes, der natürlich nicht ganz zu einem Kreise geschlossen ist, gehen in die beiden metallenen Klemmen d und e. Verbindet man nun d durch einen Draht mit dem Kupferpol unseres galvanischen Elements und e mit dem Zinkpol, so fliesst der positive Strom vom Kupferpol nach d, dann durch den kreisförmigen Draht um die Magnetnadel herum nach e, von e zum Zink und vom Zink durch die Flüssigkeit des Elements zurück zum Kupfer. Die Magnetnadel wird nun durch den Strom, der im Kreise um sie herumfliesst, aus ihrer natürlichen Lage, in der sie bekanntlich nach Norden zeigt, abgelenkt und zwar in unserem Falle, wo der positive Strom im Kreise die durch den Pfeil angegebene Richtung hat, so abgelenkt, dass der Nordpol nach hinten geht und der Südpol nach vorn kommt, wenn man sich vor der Tangentenbussole stehend denkt. Hätten wir den Kupferpol mit e, den Zinkpol mit d verbunden, so wäre der positive Strom in entgegengesetzter Richtung durch den Kreis geflossen und die Nadel wäre dann auch nach entgegengesetzter Richtung abgelenkt worden.

Fig. 32.



Ausser diesen beiden Wirkungen des galvanischen Stromes sind noch eine ganze Reihe anderer bekannt, die wir aber erst untersuchen wollen, wenn wir die Verhältnisse, von denen ein Strom abhängt, näher kennen gelernt haben.

3. Kapitel.

Die Gesetze des galvanischen Stromes.

Ein jedes galvanische Element ist im Stande, dauernd einen elektrischen Strom zu erzeugen. In der That muss ja die Elektricität stets in Strömung sein, sobald auf einem Leiter nicht überall dasselbe Potential herrscht, sondern an verschiedenen Stellen das Potential verschieden ist. Dann fliesst die positive Elektricität stets von Stellen höheren zu Stellen niederen Potentials auf dem Leiter. In jedem galvanischen Element, dessen Pole nicht verbunden sind, und das man deshalb ein offenes Element nennt, hat nun jede der beiden Metallplatten mit ihrem Pol ein bestimmtes Potential, aber das Potential der einen ist um eine bestimmte Grösse höher als das der andern. Sobald man daher die beiden Metalle durch einen Draht verbindet, so muss in diesem die positive Elektricität von dem einen Metall (dem Kupfer im Daniell'schen Element) zum andern (dem Zink) fliessen. Aber auch in den Flüssigkeiten des Elements selbst muss die Elektricität fliessen. Denn an jedem der beiden Metalle herrscht ja die elektrische Scheidungskraft und sie bewirkt, dass dann die Flüssigkeit in der Nähe des einen Metalls (des Zinks) ein höheres Potential hat wie in der Nähe des andern (des Kupfers). Sowie also die beiden Metalle durch einen Draht verbunden werden, fliesst die Elektricität durch den Draht und durch das Element selbst hindurch, und die elektrische Scheidungskraft bewirkt, dass dieser Strom ein dauernder ist. Wir können uns dieses Verhalten durch einen Vergleich mit dem Strömen von Wasser leicht klar machen. In einem Fluss stehen zwei Röhren, die mit Wasser gefüllt sind, und zwar so, dass das Niveau des Wassers in der einen Röhre höher ist, als in der andern. Sowie man die beiden Röhren durch eine zwischen ihnen angelegte Röhre verbindet, fliesst das Wasser aus der Röhre mit höherem Niveau in die andere. Und wenn man durch eine Pumpmaschine dafür sorgt, dass das Niveau der beiden Röhren stets in gleicher Höhe gehalten wird, so fliesst das Wasser fortwährend von der ersten Röhre durch das Verbindungsrohr zur zweiten und wird durch die Pumpe wieder auf das erste Niveau gehoben. Ganz entsprechend ist es bei der Elektricität. Dem Niveau beim Wasser entspricht das Potential der Elektricität, die Funktionen der Pumpmaschine übernimmt die elektrische Scheidungskraft. Von dem höheren Potential auf dem Kupfer fliesst die positive Elektricität

durch den Verbindungsdraht zum Zink und durch die Flüssigkeit zum Kupfer zurück. Die elektrische Scheidungskraft bringt sie wieder auf das ursprüngliche Potential, das des Kupfers. Ein galvanischer Strom fliesst also stets in einem geschlossenen Element, d. h. in einem Element, dessen Pole durch einen Leiter mit einander verbunden sind.

Es geht also, wenn ein Element geschlossen ist, durch jeden Theil des gesammten geschlossenen Kreises in jedem Augenblick eine gewisse Menge von Elektricität hindurch. Durch jeden Querschnitt des gesammten geschlossenen Kreises fliesst in jedem Zeitabschnitt, z. B. in jeder Sekunde, eine bestimmte Elektricitätsmenge hindurch. Es kann der Stromkreis (so nennt man die gesammte geschlossene Leitung, durch die der Strom fliesst, bestehend aus dem Element und dem Verbindungsdraht) an verschiedenen Stellen verschieden grosse Querschnitte haben, stets muss doch bei einem constanten Strome durch jeden Querschnitt in einer Sekunde gleichviel Elektricität hindurchfliessen. Denn sonst würde ja an einer Stelle eine Anhäufung der Elektricität stattfinden. Man nennt die Elektricitätsmenge, die in einer Sekunde durch irgend einen Querschnitt des Stromkreises hindurchfliesst, die Stromstärke oder Stromintensität. Wie viel Elektricität durch einen Querschnitt in einer Sekunde hindurchfliessen kann, das hängt natürlich von verschiedenen Umständen ab. Das hängt einmal davon ab, wie gross die treibende Kraft ist, welche den galvanischen Strom hervorruft, wie gross also die elektromotorische Kraft des Elements ist. Zweitens aber hängt es auch davon ab, durch welche Stoffe der Strom fliesst und wie gestaltet diese sind. Aber mögen sie auch Formen haben, welche sie wollen, in einem bestimmten Stromkreis fliesst durch jeden Querschnitt, wie gross oder wie klein er sein mag, immer ein und dieselbe Menge Elektricität in der Sekunde. Mit anderen Worten heisst dies, die Stromstärke ist in einem Stromkreis überall dieselbe. In jedem Stromkreis hat also der galvanische Strom eine gewisse Stärke und zwar an allen Stellen des Stromkreises dieselbe. Man kann sich dies wieder an einem Vergleich mit einem gewöhnlichen Strom von fliessendem Wasser klar machen. Wenn man eine Röhre hat, die an verschiedenen Stellen verschiedene Weite besitzt, und man lässt in diese Röhre in jeder Sekunde z. B. 30 Kubikmeter Wasser an einem Ende einfliessen und ebenso viel am anderen Ende abfliessen, so dass die Röhre immer ganz mit Wasser gefüllt ist, so fliessen durch jeden Querschnitt, mag er gross oder klein sein, in jeder Sekunde grade 30 Kubikmeter Wasser. An engeren Stellen der Röhre fliesst dann eben das Wasser rascher, an weiteren langsamer. Ganz so ist es beim elektrischen Strome. Die Stromintensität, die Stärke des Stromes ist überall dieselbe, durch jeden Querschnitt des Stromkreises fliesst in einer bestimmten Zeit dieselbe Elektricitätsmenge hindurch.

Je stärker ein elektrischer Strom ist, desto stärker sind die Wirkungen, die er erzeugt. Wir werden also die Stärke des Stromes erkennen können aus der Grösse seiner Wirkungen. Das einfachste Mittel dazu ist die Tangentenbussole, wie sie in Fig. 32 abgebildet ist.

Der elektrische Strom lenkt bei dieser aus der Ferne die Magnetnadel aus ihrer natürlichen Lage ab und zwar um so mehr, je stärker er selbst ist. Zugleich aber will die Nadel immer ihre natürliche Richtung einnehmen, weil eine Magnetnadel durch den Einfluss des Erdmagnetismus immer nach Norden zeigen will. Unter dem Einfluss dieser beiden Kräfte kommt also die Nadel in eine bestimmte Lage. Sie wird um so mehr abgelenkt, je grösser die Stärke des galvanischen Stromes ist, der um sie herumfliesst und der sie beeinflusst. Aus der Grösse der Ablenkung unserer Magnetnadel können wir also umgekehrt die Stärke verschiedener Ströme, die um sie herumfliessen, mit einander vergleichen, d. h. wir können sagen, der eine Strom ist doppelt so stark wie der andere, oder dreifach, oder halb so stark. Eine genauere mathematische Betrachtung zeigt, dass die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels der Stromstärke proportional ist. Daher kommt der Name Tangentenbussole. Für unsere Zwecke genügt es, zu wissen, dass man in der Tangentenbussole ein Mittel hat, um die Stärke von Strömen mit einander zu vergleichen.

Wovon hängt nun die Stromstärke ab? Jedenfalls von der Grösse der elektromotorischen Kraft des Elements. Je grösser die elektromotorische Kraft ist, d. h. je grösser die Potentialdifferenz ist, welche die Elektricität bewegt, desto grösser muss auch die Menge der Elektricität sein, die durch jeden Querschnitt hindurchgeht, d. h. desto grösser muss die Stärke des Stromes in dem Stromkreise sein. Und das ist in der That der Fall, wie man sich durch die Tangentenbussole überzeugen kann. Nehmen wir z. B. ein Daniell'sches Element, und verbinden wir es durch ein paar dünne Drähte (warum sie dünn sein müssen, wird sich bald zeigen) mit der Tangentenbussole, so erleidet die Nadel derselben eine gewisse Ablenkung und zeigt somit eine gewisse Stromstärke an.

Verbinden wir jetzt vier solcher Elemente hinter einander und setzen die Endpole dieser Elemente durch dieselben dünnen Drähte mit den Klemmschrauben der Tangentenbussole in Verbindung, so zeigt die Nadel derselben eine grössere Ablenkung an und die Berechnung zeigt, dass jetzt die Stärke des Stromes in der ganzen Leitung die vierfache ist wie früher.

Ebendasselbe Resultat könnten wir mit mehr oder weniger Elementen erhalten. Wir haben danach das Gesetz:

A. Je grösser die elektromotorische Kraft ist, die in einem bestimmten Stromkreis wirkt, desto grösser ist unter sonst gleichen Umständen auch die Intensität des Stromes. Wird die elektromotorische Kraft zwei-, drei-, viermal so gross als zuerst, so wird auch die Stromstärke zwei-, drei-, viermal so gross. Der eine Faktor, von dem die Stromstärke abhängt, ist dadurch ermittelt und sein Einfluss erkannt.

Ausser von der elektromotorischen Kraft muss aber, wie wir durch Ueberlegung gefunden haben, die Stromstärke noch abhängen von der Art und Gestalt und Grösse der Körper, durch welche die Elektricität fliesst.

Wir haben schon früher uns überzeugt, dass alle Körper dem

Durchgang der Elektricität einen gewissen Widerstand entgegensetzen, die Isolatoren einen ausserordentlich grossen, die Halbleiter einen kleineren, die Leiter einen verhältnissmässig kleinen. Je grösser nun der Widerstand ist, den ein Strom in seinem gesammten Stromkreis zu überwinden hat, desto weniger Elektricität kann in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Sekunde, durch einen Querschnitt gehen, desto geringer ist also die Stärke des Stromes. Es hängt also die Stromstärke noch ab von dem gesammten Widerstande, den der Strom in seiner Bahn zu überwinden hat. Dieser Widerstand setzt sich aber aus verschiedenen Theilen zusammen. Er besteht aus dem Widerstand, den das Element selbst, also seine Metalle und seine Flüssigkeiten dem Strom darbieten, und er besteht aus dem Widerstand des Verbindungsdrahtes, resp. aller der Drähte, durch die der Strom zu fliessen hat, also z. B. wenn der Strom um die Nadel der Tangentenbussole fliesst, auch aus dem Widerstand des kreisförmigen Drahtes derselben. Was wir speciell unter Widerstand verstehen, werden wir nachher aus einander setzen. Jedenfalls haben wir den Satz:

B. Je grösser der gesammte Widerstand des Stromkreises ist, um so geringer ist die Intensität des Stromes. Wird der gesammte Widerstand doppelt, dreifach, vierfach so gross als er war (während die elektromotorische Kraft ungeändert bleibt), so wird die Stärke des Stromes blos die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel von der ursgrünglichen.

Diese beiden Gesetze A und B zusammen nennt man das Ohm'sche Gesetz.

Wir können die beiden Sätze zusammen in folgender Form darstellen:

In jedem einfachen geschlossenen Stromkreise ist die Stromintensität gleich der elektromotorischen Kraft dividirt durch den ganzen Widerstand:

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}.$$

Dieses Ohm'sche Gesetz gilt für jeden galvanischen Strom, wenn man nur alle in einem Stromkreis vorhandenen elektromotorischen Kräfte und alle Widerstände berücksichtigt.

Wir müssen nun zunächst näher bestimmen, wie der Widerstand von Leitern abhängt von der Grösse und Gestalt, dem Stoffe und der Anordnung derselben.

In den meisten Anwendungen des galvanischen Stromes ist der Weg, durch den die Elektricität fliesst, ein Draht, oder hat wenigstens die Form eines Drahtes. Man nimmt Kupferdrähte oder Platindrähte oder Eisendrähte, um den Strom durchzuleiten. Aber auch wenn der elektrische Strom durch eine Flüssigkeit fliesst, kann man deren Form als die eines Drahtes ansehen. Man kann von der Länge der durchlaufenen Flüssigkeit sprechen und von ihrem Querschnitt. Untersuchen wir also, wie sich der Widerstand eines Drahtes mit seiner Länge, seinem Querschnitt und seinem Material ändert.

Wir nehmen ein bestimmtes galvanisches Element, z. B. einen

Daniell, und verbinden seine Pole mit einer Tangentenbussole durch einen Kupferdraht von einem ganz bestimmten Querschnitt und ganz bestimmter Länge, z. B. der Länge von einem Meter. Dann ergiebt sich an der Tangentenbussole ein bestimmter Ausschlagswinkel. Ersetzen wir dann den Draht von einem Meter Länge durch einen genau ebenso dicken Kupferdraht von zwei Meter Länge, so bekommen wir einen anderen, kleineren Ausschlag an der Tangentenbussole, und machen wir dieselbe Operation mit gleich dicken Kupferdrähten von drei, vier, fünf u. s. w. Meter Länge, so bekommen wir immer andere Ausschläge der Tangentenbussole. Die elektromotorische Kraft des Elements, der Widerstand der Flüssigkeiten im Element und der Widerstand des Drahtes in der Tangentenbussole sind unverändert geblieben. Blos der Widerstand des Verbindungsdrahtes ist ein anderer geworden und dadurch auch die Stromintensität, wie sie sich durch den Ausschlag der Tangentenbussole zu erkennen giebt. Wir können daher durch die Ausschläge der Tangentenbussole berechnen, wie sich der Widerstand von Drähten von gleichem Material und gleicher Dicke verändert, wenn die Länge variirt. Und so findet man, dass, wenn die Länge eines Drahtes die zwei-, drei-, vierfache wird, auch der Widerstand des Drahtes der zwei-, drei-, vierfache wird. Es ergiebt sich also daraus das Gesetz:

a. Der Widerstand eines Drahtes von bestimmtem Material und bestimmtem Querschnitt ist um so grösser, je grösser seine Länge ist.

Auf ganz dieselbe Weise können wir untersuchen, wie sich der Widerstand eines Drahtes ändert, wenn sich der Querschnitt ändert. Wir nehmen eine Reihe von Kupferdrähten von ein und derselben Länge, deren Querschnitte aber verschieden sind, und lassen der Reihe nach den Strom aus einem Element durch jeden von ihnen fliessen. Dann können wir aus den verschiedenen Ausschlägen des Magnetes in der Tangentenbussole die Grösse des Widerstandes der verschiedenen Drähte berechnen und auf diese Weise finden wir:

b. Der Widerstand von Drähten bei gleichbleibendem Material und gleichbleibender Länge ist um so kleiner, je grösser ihr Querschnitt ist.

Wird der Querschnitt zwei-, drei-, viermal so gross, so ist der Widerstand blos die Hälfte, ein Drittel, ein Viertel des ursprünglichen.

Die Form des Querschnitts, ob er kreisförmig oder viereckig oder unregelmässig ist, ist gleichgültig. Nur auf seine Grösse kommt es an.

Wir haben damit die Gesetze gefunden, wie der Widerstand eines Drahtes abhängt von seiner Grösse und Gestalt. Der Widerstand hängt aber auch wesentlich ab von der Art des Stoffes, aus welchem der Leiter besteht. Ein Kupferdraht von z. B. 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt hat einen anderen Widerstand als ein Aluminiumdraht von derselben Länge und demselben Querschnitt. Legt man daher z. B. den Widerstand eines Kupferdrahtes von bestimmter Länge und bestimmtem Querschnitt als Einheit zu Grunde, so kann man für jedes andere leitende Material eine Zahl bestimmen, welche angiebt, wie viel-

mal sein Widerstand bei derselben Länge und demselben Querschnitt grösser oder kleiner ist. Diese Zahl nennt man den specifischen Widerstand des Leiters, bezogen auf Kupfer als Einheit. Wir werden weiter unten Tabellen über die specifischen Widerstände vieler Metalle und anderer Leiter geben. Hier sei nur als Beispiel angeführt, dass der specifische Widerstand von Eisen 5,88 ist, bezogen auf Kupfer als Einheit, der von Neusilber 11,33. Das heisst also, ein Eisendraht hat immer einen 5,88mal so grossen Widerstand als ein Kupferdraht von derselben Länge und demselben Querschnitt, ein Neusilberdraht gar einen 11,33mal so grossen Widerstand.

Nachdem wir so gesehen haben, wie der Widerstand eines Leiters von seiner Länge, seinem Querschnitt und seinem Material abhängt, können wir das Gesetz aussprechen:

c. Der Widerstand eines Leiters ist gleich seinem specifischen Widerstand, multiplicirt mit seiner Länge, dividirt durch seinen Querschnitt

$$\text{Widerstand eines Leiters} = \text{specifisch. Widerstand} \times \frac{\text{Länge}}{\text{Querschn.}}$$

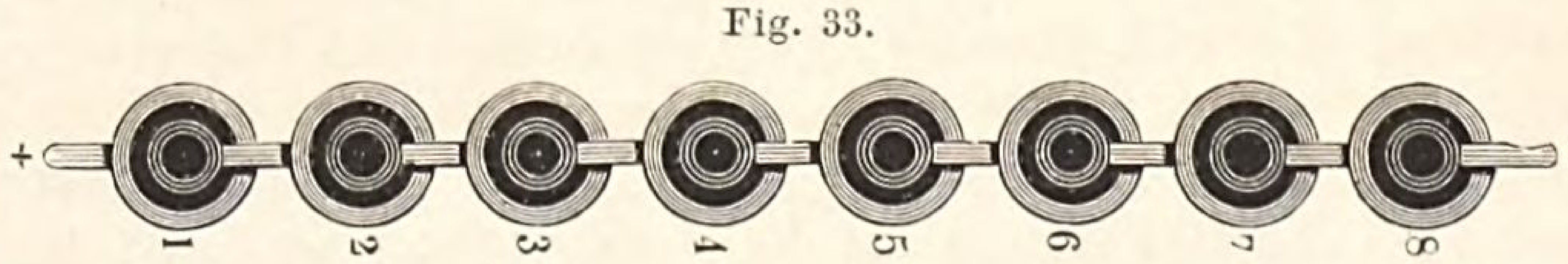
Dies gilt für Leiter jeder Art, sowohl feste Leiter — wie Metalle, Kohle — als für flüssige Leiter, also auch für die Flüssigkeiten in den galvanischen Elementen.

Wir können von diesem Gesichtspunkt aus den Widerstand von galvanischen Elementen genauer untersuchen.

Nehmen wir ein galvanisches Element, z. B. einen Daniell, und verbinden wir seine Pole durch einen Draht von einem bestimmten Widerstand, so fliesst durch diesen geschlossenen Stromkreis ein Strom, dessen Intensität gleich der elektromotorischen Kraft des Daniell dividirt durch den gesammten Widerstand ist. Der gesammte Widerstand setzt sich zusammen aus dem des Drahtes und dem des Elementes selbst, welchen man den inneren Widerstand des Elementes nennt.

Ordnet man nun eine Reihe von Daniells hinter einander, wie in Fig. 33, so fliesst der Strom vom ersten zum zweiten Element, von

Fig. 33.



diesem zum dritten u. s. f. bis zum achten und dann durch den Verbindungsdraht zurück zum ersten.

Es ist bei dieser Anordnung immer das Zink des einen Elements mit dem Kupfer des anderen verbunden. Die elektromotorische Kraft, die in dieser Kette wirkt, ist also die achtfache eines einzigen Daniells. Aber auch der innere Widerstand der ganzen Kette ist der achtfache eines Daniells, weil der Strom jetzt die achtfache Länge von Flüssigkeiten bei gleichem Querschnitt zu durchlaufen hat. Die gesammte Intensität des Stromes ist also

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{achtfache elektromotorische Kraft eines Daniells}}{\text{Drahtwiderstand} + \text{achtfacher innerer Widerstand eines Daniells}}.$$

Ist nun z. B. der Drahtwiderstand sehr klein gegenüber dem achtfachen inneren Widerstand eines Daniells, so ist nahezu

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft eines Daniells}}{\text{innerer Widerstand eines Daniells}}.$$

Man gewinnt also dann gar nichts an Stromintensität, wenn man 8 Elemente hinter einander schaltet. Der Gesammtstrom ist ungefähr ebenso stark, als wenn man nur einen Daniell genommen hätte.

Ist dagegen der Drahtwiderstand sehr gross, viel grösser als der gesammte innere Widerstand der Kette, so hat man nahezu

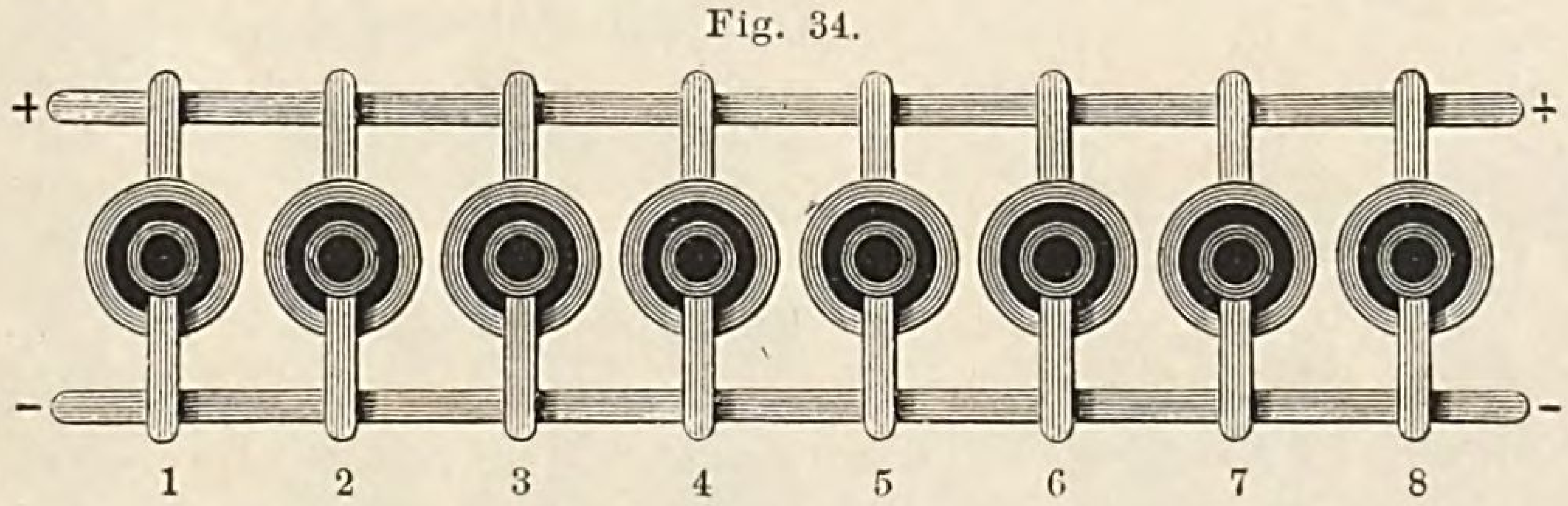
$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{achtfache elektromotorische Kraft eines Daniells}}{\text{Drahtwiderstand}}.$$

Jetzt ist also die Stromstärke nahezu achtmal so gross, als wenn man nur einen Daniell anwendet.

Es ergiebt sich also die Regel: Ist der Widerstand des Verbindungsdrahtes einer Kette oder, wie man auch sagt, des äusseren Stromkreises sehr gross gegen den inneren Widerstand der Kette, so ist es vortheilhaft, die Elemente hinter einander zu einer Kette zu schalten, um möglichst starke Stromintensität zu erhalten.

Man kann aber eine Reihe von Elementen auch anders verbinden, nämlich so, dass man alle Kupferplatten mit einander verbindet und ebenso alle Zinkplatten. Eine solche Anordnung ist in Fig. 34

Fig. 34.



dargestellt. Man sagt dann, die Elemente seien neben einander geschaltet. Hier sind die Verhältnisse ganz anders. Alle die Kupfercylinder bilden zusammen eine grosse Kupfermasse und alle die Zinkcylinder eine grosse Zinkmasse, die sich einander gegenüberstehen. Die elektromotorische Kraft hängt aber, wie wir wissen, gar nicht von der Grösse der Kupfer- und Zinkmassen ab, sie ist also in dieser Kettenanordnung einfach gleich der eines einzigen Daniells. Die elektromotorische Kraft wird also durch eine derartige Anordnung von Elementen nicht erhöht. Aber der innere Widerstand dieser Kette ist ein anderer als der eines einzigen Daniells. Denn denkt man sich alle Flüssigkeiten und Metalle zusammen in einem Gefäss, so ist der Querschnitt der Flüssigkeiten, durch den der Strom fliesst, jetzt 8mal so gross wie bei einem Daniell. Folglich ist der innere Widerstand dieser Kette blos der achte Theil von dem inneren Widerstand eines Daniells. Verbindet man jetzt die Pole dieser Kette durch den äusseren Verbindungsdraht, so hat man

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft eines Daniells}}{\text{Drahtwiderstand} + {}^1/_8 \text{ innerer Widerstand eines Daniells}}.$$

Jetzt sind die Verhältnisse grade die entgegengesetzten wie früher, bei Hintereinanderschaltung der Elemente.

Ist nämlich der Drahtwiderstand klein gegen den inneren Widerstand der Kette, so ist

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft eines Daniells}}{{}^1\!/\!_8 \text{ innerer Widerstand eines Daniells}},$$

also die Stromintensität nahezu 8mal so gross wie bei einem Daniell. Ist dagegen der Drahtwiderstand sehr gross, so ist

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft eines Daniells}}{\text{Drahtwiderstand}}.$$

Dann ist also die Stromintensität nahezu dieselbe wie bei einem einzigen Daniell. Man gewinnt also dann gar nichts an Stromintensität.

Wir haben danach die beiden Regeln:

Ist der Widerstand des äusseren Stromkreises sehr gross, so ist es vortheilhaft, die Elemente hinter einander zu schalten, ist er sehr klein, so ist es vortheilhaft, sie neben einander zu schalten, um möglichst grosse Stromstärken zu erhalten.

Man sagt auch wohl von einer hinter einander geschalteten Kette, sie sei auf Spannung gekuppelt, von einer neben einander geschalteten Kette, sie sei auf Intensität oder Quantität gekuppelt, doch sind diese Ausdrücke, die man oft liest, schlecht gewählt.

Fig. 35.

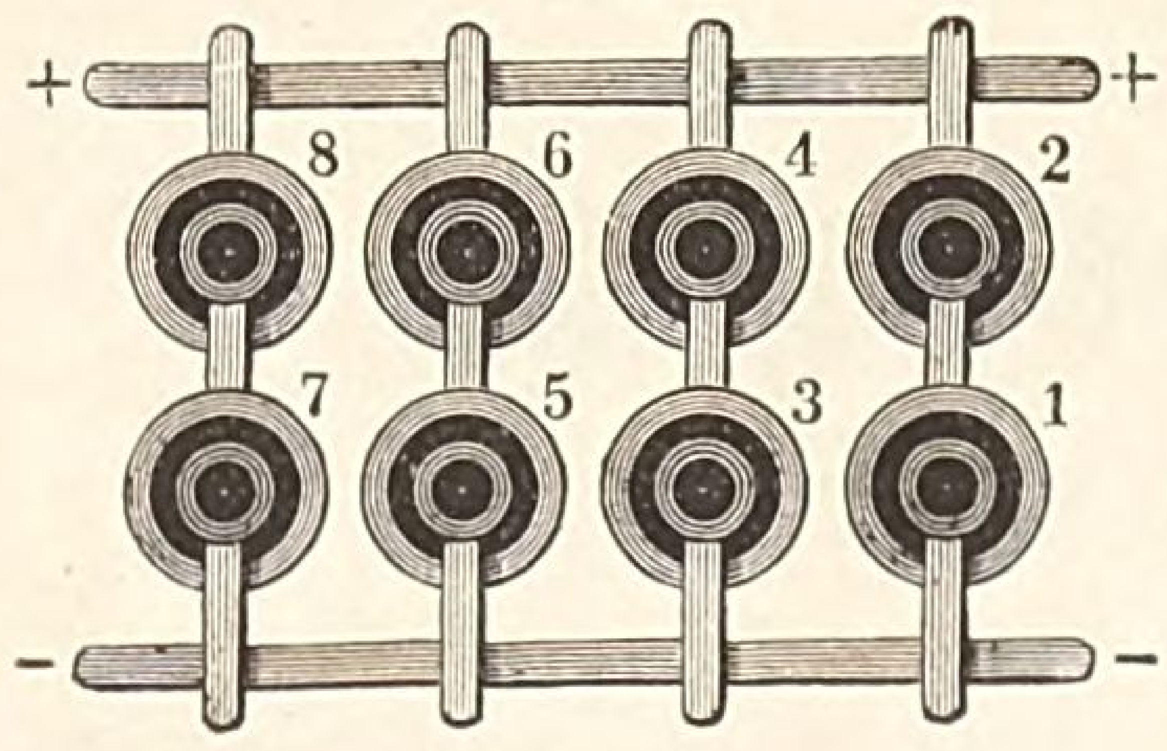


Fig. 36.

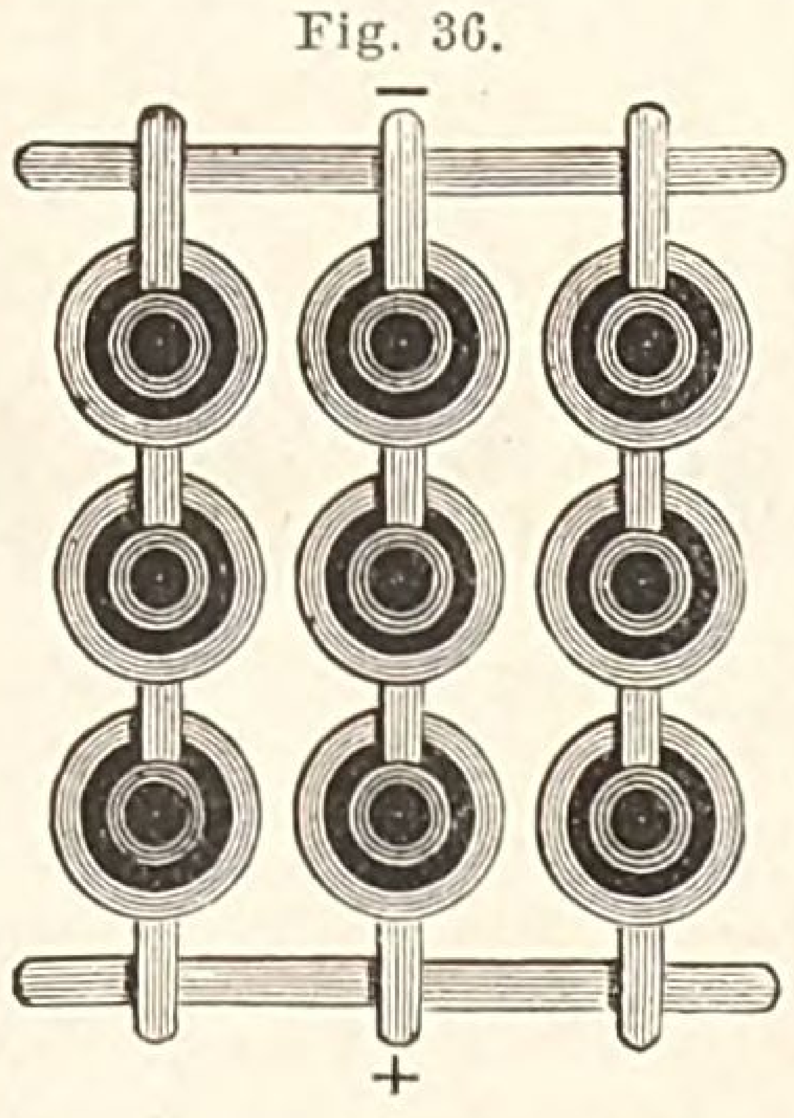
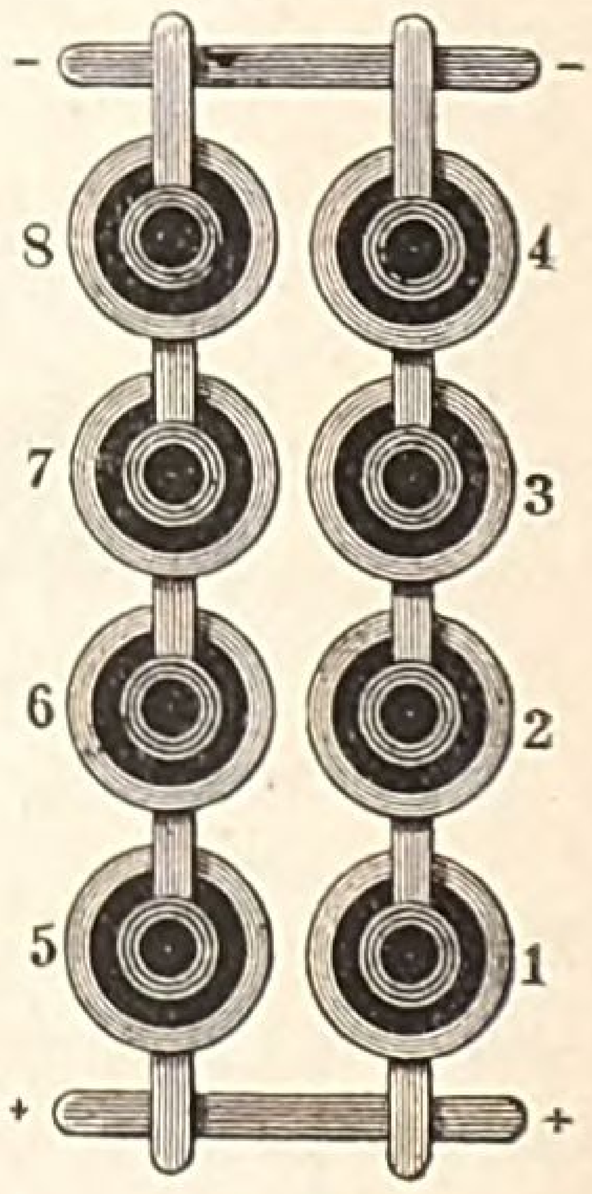
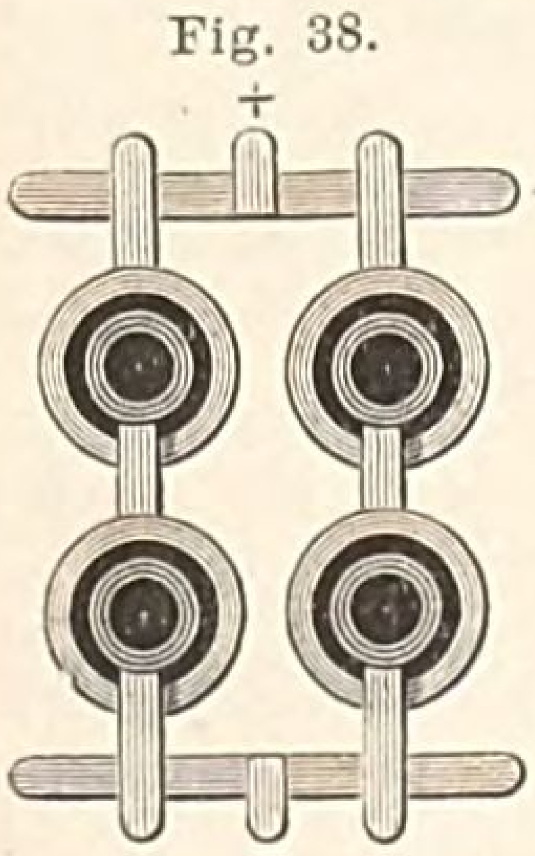


Fig. 37.



Ist der Widerstand des Drahtes nicht sehr gross und auch nicht sehr klein gegen den inneren Widerstand eines Elements, so kann man die Elemente theils hinter einander, theils neben einander schalten, wie in Fig. 35 und 36, 37 und 38 an Beispielen dargestellt ist. Die mathematische Untersuchung giebt die Regel, dass man die Elemente am zweckmässigsten so schaltet, dass der innere Widerstand der ganzen Kette möglichst gleich dem äusseren Widerstand ist.

Fig. 38.



In der Kette Fig. 35 sind z. B. immer je zwei Daniell hinter einander und vier neben einander geschaltet. Es ist also der innere Widerstand dieser Kette $= \frac{2}{4} =$ dem halben Widerstand eines Elements.

In Fig. 36 resp. 38 sind je 3 resp. 2 Elemente hinter und je 3

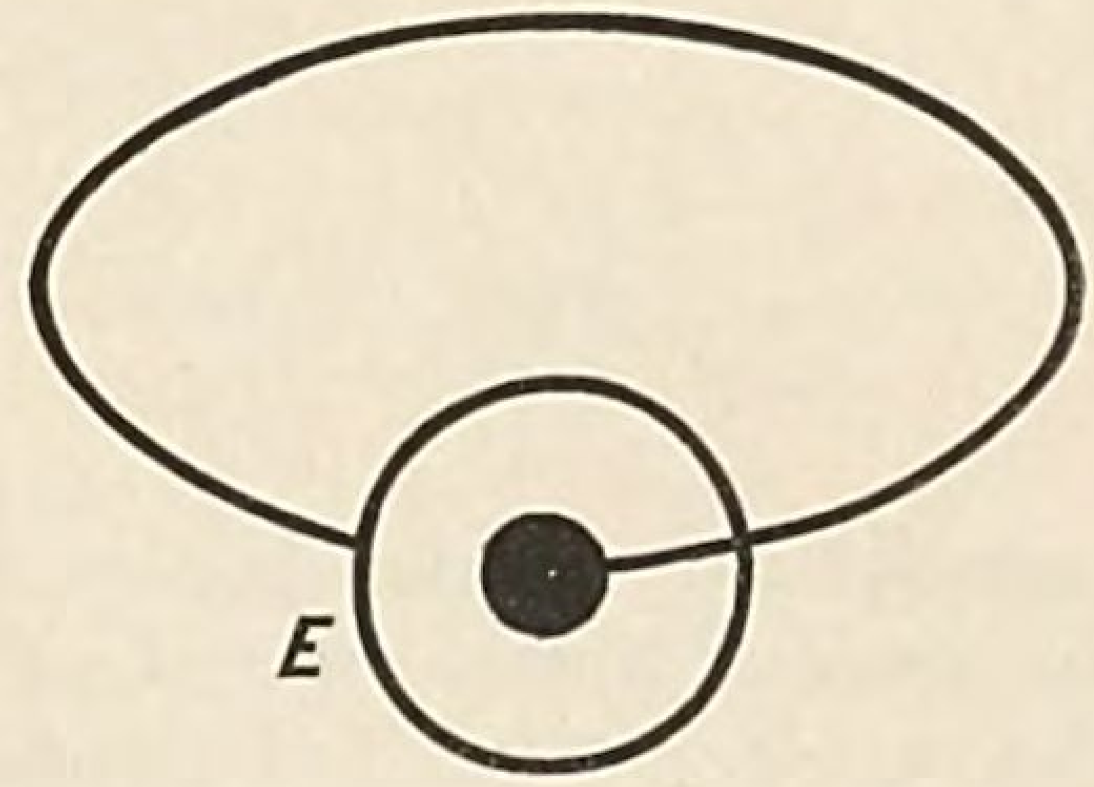
resp. 2 neben einander geschaltet. Der Widerstand ist also gleich dem eines Elements.

In Fig. 37 sind je 4 Elemente hinter und je 2 neben einander geschaltet. Der Widerstand ist also doppelt so gross wie der eines Elements.

Die elektromotorische Kraft ist in Fig. 35 gleich 2 Daniell, in 36 gleich 3, in 37 gleich 4 und in 38 gleich 2 Daniell.

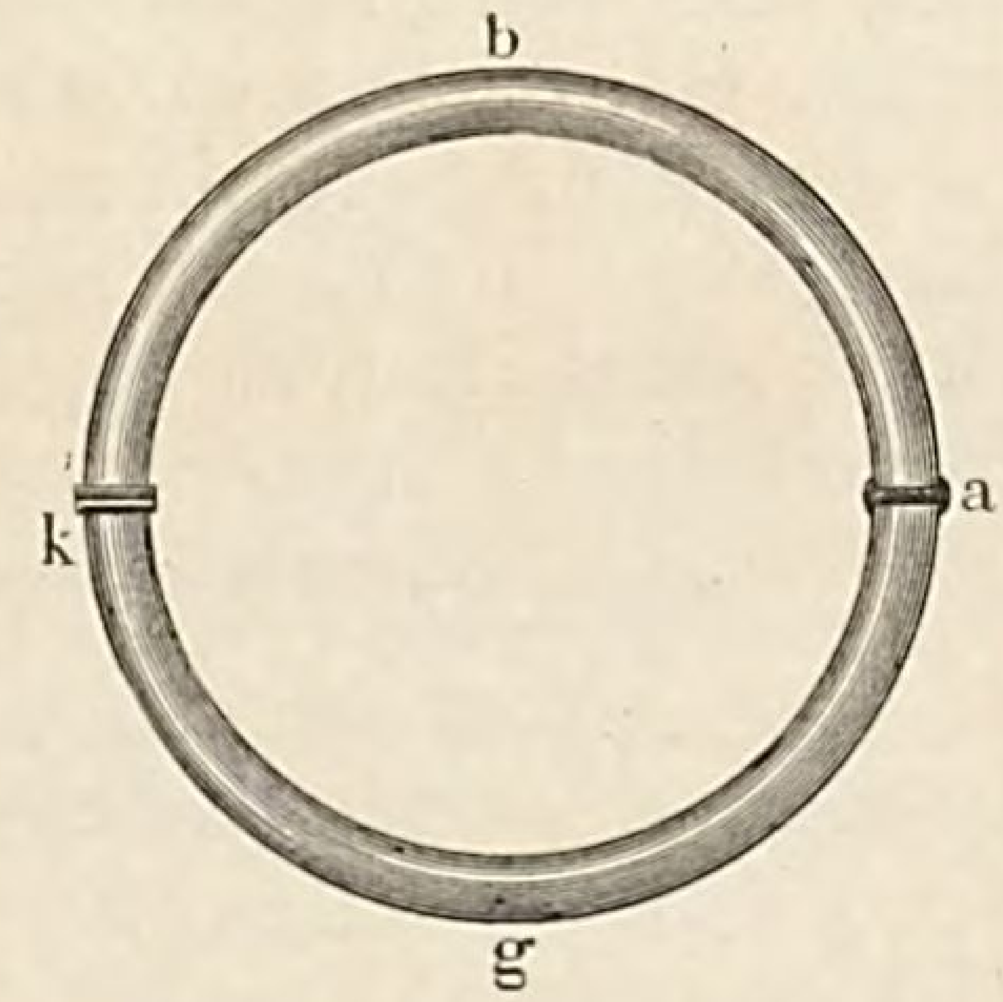
Wir hatten das Ohm'sche Gesetz abgeleitet und bestätigt gefunden für den Fall, dass ein galvanisches Element oder eine Kette von Elementen durch einen äusseren Draht geschlossen war. Wir hatten dabei vorausgesetzt, dass der Draht ein einfacher sei, dass er keine Verzweigungen enthalte. Das einfache Schema eines solchen geschlossenen Stromkreises ist also in Fig. 39 dargestellt. Darin ist E das Element und der Verbindungsdraht geht von dem einen Pol des Elements zum anderen. Er kann dabei durch viele Apparate gehen, aber es ist immer ein einziger unverzweigter Draht.

Fig. 39.



Wir können, um die Verhältnisse in einem solchen einfachen Stromkreis näher zu untersuchen, das Schema in Fig. 40 benutzen. Dasselbe stelle in seinem unteren Theil a g k eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Glasröhre dar, der obere Theil a b k stelle einen Draht dar. Bei a befinde sich eine Zinkplatte, bei k eine Kupferplatte. Die an dem Draht anliegende Stelle der Kupferplatte hat positives Potential, die entsprechende Stelle der Zinkplatte ein ebenso grosses negatives Potential. Auf dem Draht k b a herrscht an allen Stellen ein anderes Potential, und zwar nimmt dasselbe von dem positiven Werthe bei k allmählich durch Null hindurch ab bis zu dem negativen Werthe bei a. An einer Stelle ist also das Potential Null und zwar, wenn der Draht aus einem homogenen Metall besteht, grade in der Mitte zwischen a und k. Entsprechendes findet in der unteren Hälfte der Figur statt. Die an k anliegende Schicht der Schwefelsäure hat negatives Potential, die an a anliegende positives Potential, und in der unteren Hälfte nimmt also das Potential von a bis k ab. An den Metallen selbst findet ein Sprung des Potentiales statt, hervorgebracht durch die elektrische Scheidungskraft.

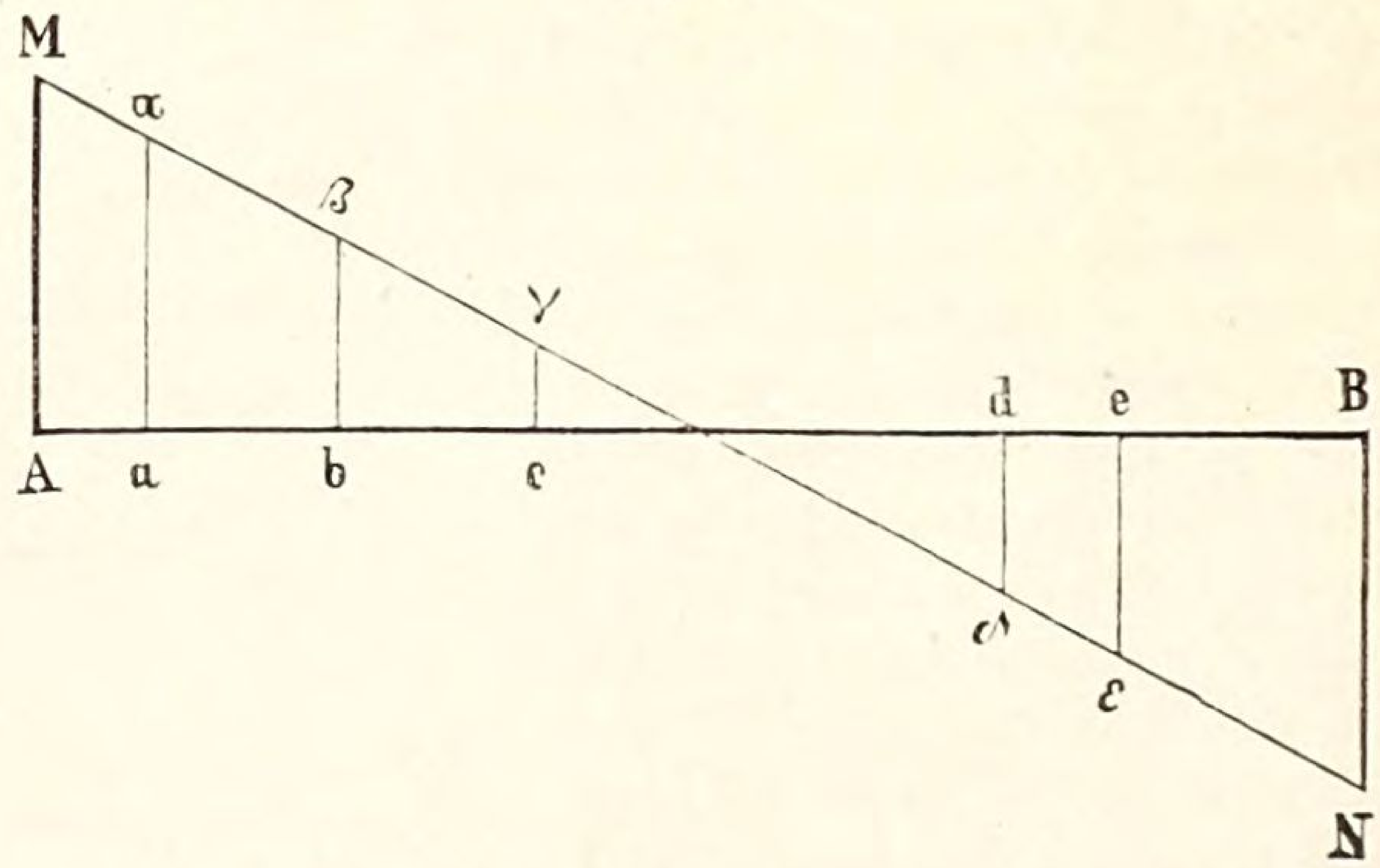
Fig. 40.



Untersuchen wir aber die Vertheilung des Potentials auf dem Draht. Denken wir uns denselben, wie in Fig. 41, grade gestreckt und aus einem homogenen Metall bestehend, A B, so herrscht am Anfang desselben in A das positive Potential, das wir uns durch die Strecke A M repräsentirt denken können, am Ende B das ebenso grosse negative Potential, das durch die Linie B N repräsentirt sei.

An den zwischenliegenden Stellen a b c d e hat das Potential dann die Werthe, deren Grösse durch die Linien a α, b β, c γ, d δ, e ε dar-

Fig. 41.

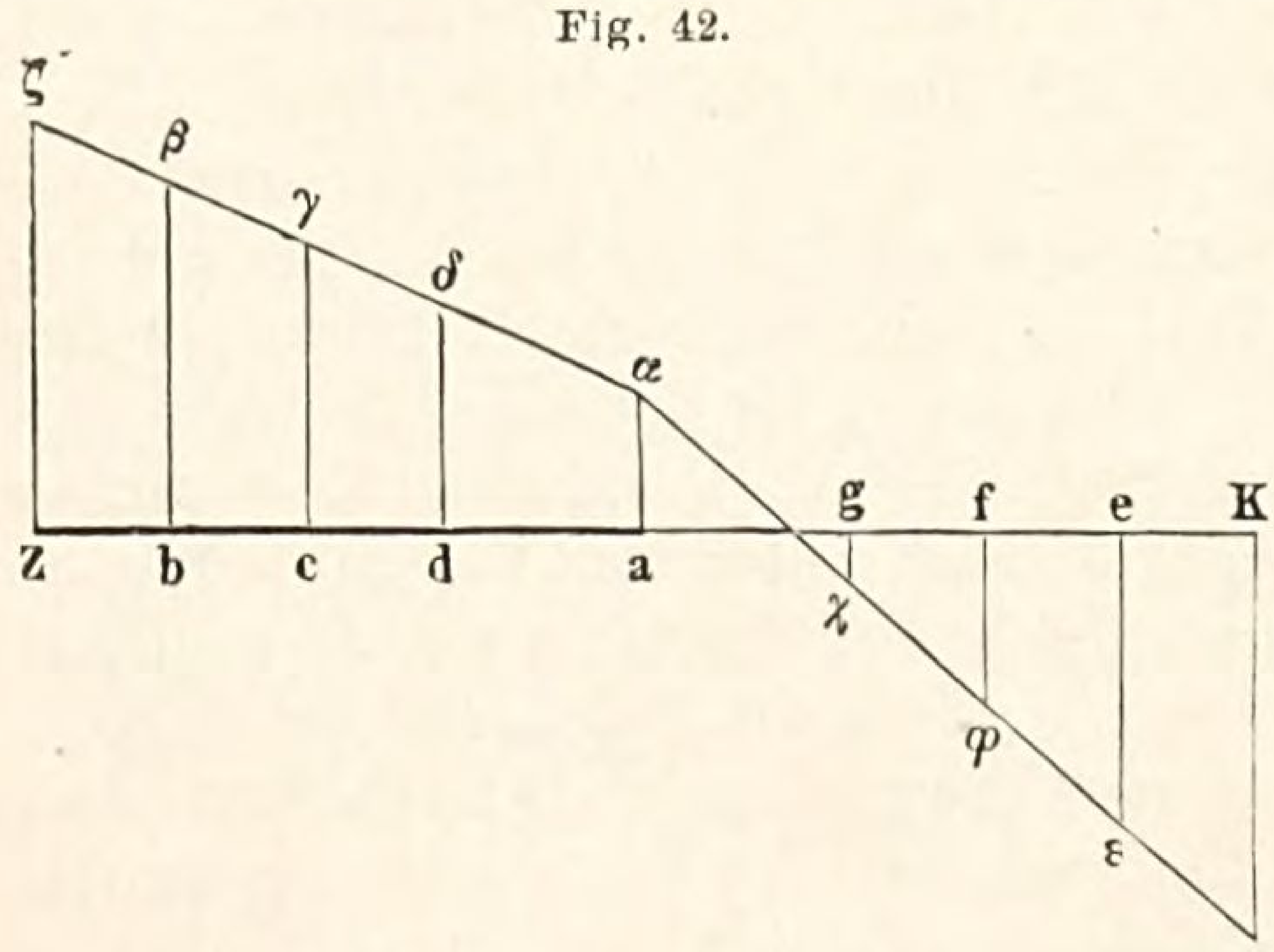


gestellt ist. In der Mitte des Leiters ist das Potential Null. Zwischen je zwei Punkten des Drahtes herrscht also eine Potentialdifferenz. So z. B. ist das Potential in A grösser als das in B um die Grösse A M + B N, das in a grösser als das in b um die Grösse a α — b β u. s. w. An zwei beliebigen Punkten des Drahtes hat also das Potential verschiedene Werthe, und grade deswegen strömt die Elektricität durch den Draht; denn die positive Elektricität bewegt sich stets von Stellen höheren zu Stellen niederen Potentials. In jedem Stück eines solchen Drahtes gilt nun wieder ein ähnliches Gesetz, wie in dem ganzen geschlossenen Stromkreis. Die Stromstärke, d. h. die Menge der in einer Sekunde durchfliessenden Elektricität in einem Stück eines Drahtes hängt ab von der Potentialdifferenz an den beiden Enden dieses Stückes und von dem Widerstand dieses Stückes:

$$\text{Stromstärke in einem Drahtstück} = \frac{\text{Potentialdifferenz an seinen Endpunkten}}{\text{Widerstand des Drahtstückes}}.$$

In einem einfach geschlossenen, unverzweigten Stromkreis ist die Stromstärke überall dieselbe, die Potentiale nehmen dann eben gleichmässig auf dem ganzen Draht ab. Besteht der Verbindungsdraht aus mehreren an einander gesetzten Stücken von verschiedenem Material, so kann man auch leicht den Werth des Potentials für jeden Punkt bestimmen. Besteht z. B. in Fig. 42 der Draht Z K aus zwei Stücken Z a und a K, von denen Z a einen dreifach so grossen Widerstand hat wie a K, so muss die Potentialdifferenz Z ζ — a α $^1/_3$mal so gross sein, wie die Potentialdifferenz a α + K $\varkappa$, also da Z ζ der Grösse nach gleich K $\varkappa$ ist, muss a α gleich der Hälfte von Z ζ sein. Man braucht

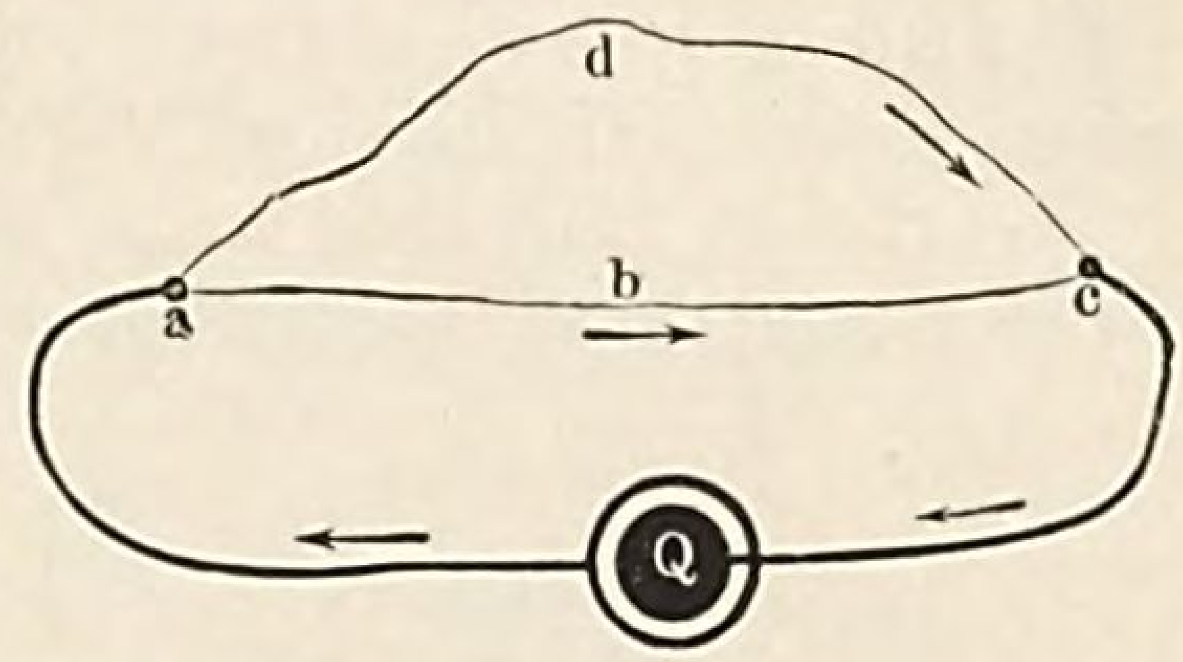
Fig. 42.



also nur im Punkt a die Strecke $a\alpha = \frac{1}{2} Z\zeta$ aufzutragen und hat dann durch Verbindung von ζ mit α und von α mit $\varkappa$ sofort die Werthe des Potentials für alle Punkte b c d a g f e.

Man braucht aber oft für elektrische Untersuchungen und Anwendungen einen allgemeineren Fall. Man lässt nämlich den Strom durch eine verzweigte Leitung gehen, wie sie in einem einfachen Falle in Fig. 43 dargestellt ist. Dann kommt der elektrische Strom in der Richtung des Pfeiles aus dem Element Q, fliesst zuerst, wie gewöhnlich, bis a, dann aber verzweigt er sich und fliesst sowohl durch d, als durch b in der Richtung der Pfeile, bis er nach c kommt. Dort vereinigen sich die beiden Stromzweige wieder und nun fliesst er wie früher zum Element zurück. Auch für diesen Fall der Stromverzweigung lassen sich Gesetze aus der eben angeführten Verallgemeinerung des Ohm'schen Gesetzes ableiten.

Fig. 43.



Am Punkt a ist ein bestimmtes Potential vorhanden, am Punkt c ein anderes. Durch die Potentialdifferenz zwischen a und c wird die Elektricität sowohl durch a b c, als durch a d c getrieben. Es ist folglich:

$$\text{Stromstärke in a b c} = \frac{\text{Potentialdifferenz a c}}{\text{Widerstand von a b c}}$$

$$\text{und die Stromstärke in a d c} = \frac{\text{Potentialdifferenz a c}}{\text{Widerstand von a d c}}.$$

Daraus folgt, dass sich die Stromstärken in den beiden Zweigen umgekehrt wie ihre Widerstände verhalten. In dem unverzweigten Theil der Leitung a Q c ist die Stromstärke die Summe von den beiden Zweigstromstärken. Haben also z. B. die beiden Zweige gleichen Widerstand, so fliesst durch jeden ein Strom, dessen Stärke blos die Hälfte von der des Hauptstromes ist. Hat z. B. das Stück a d c in der Figur einen doppelt so grossen Widerstand wie das Stück a b c, so ist der Strom, der durch a d c fliesst, nur halb so stark wie der, der durch a b c fliesst und die Summe der Stromstärken in den beiden Zweigen ist gleich der Stromstärke in dem ungetheilten Stück des Stromes.

Der Widerstand der beiden Zweige des Leiters zusammen gegen den Strom ist hier nicht etwa gleich der Summe der Widerstände der beiden Leiter, sondern viel kleiner, kleiner als der Widerstand jedes einzelnen Leiters allein genommen. Man kann das sofort erkennen, wenn man z. B. annimmt, die beiden Zweige seien gleich lang und haben gleichen Querschnitt. Dann fliesst der Strom von a aus durch beide Zweige zu gleicher Zeit und diese verhalten sich so, als ob nur ein einziger Leiter von a bis c ginge, aber mit einem doppelt so grossen Querschnitt. Der Widerstand dieses Leiters ist dann, wie wir wissen, nur die Hälfte des früheren. Also diese beiden gleich

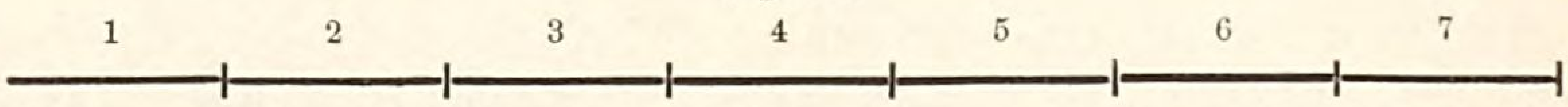
langen und gleich dicken Zweige des Leiters haben zusammen nur einen Widerstand, der gleich der Hälfte des Widerstandes jedes einzelnen Leiters ist. Das ist ein sehr wichtiges Gesetz. Man sagt von zwei oder mehr Leitern, deren Anfangspunkte alle mit einander verbunden sind und deren Endpunkte auch mit einander verbunden sind, sie seien neben einander geschaltet, während man von Leitern, die so verbunden sind, dass der Anfangspunkt des einen mit dem Endpunkt des anderen verbunden ist, sagt, sie seien hinter einander geschaltet. Diese Bezeichnungen sind ganz analog den oben erwähnten bei der Verbindung von galvanischen Elementen.

Haben wir also z. B. die 7 Drähte Fig. 44, alle von gleichem Widerstand, und verbinden wir sie wie in Fig. 45, so ist der Wider-

Fig. 44.



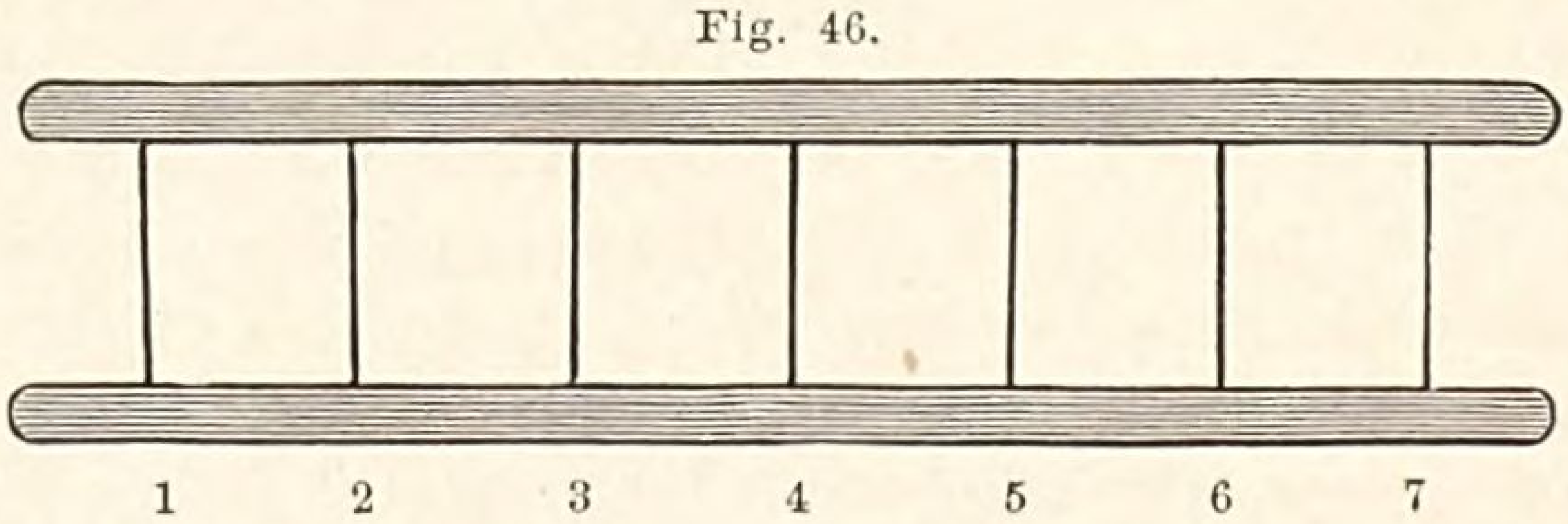
Fig. 45.



stand dieser zusammenhängenden Drähte der siebenfache von jedem einzelnen. Die Drähte sind dabei hinter einander geschaltet.

Verbinden wir aber die Drähte wie in Fig. 46, so ist der Wider-

Fig. 46.



stand der 7 Drähte gegen den Strom blos $^1/_7$ von dem jedes einzelnen. Die Drähte sind dabei neben einander geschaltet.

Man kann sich dieses Verhalten leicht klar machen, wenn man an die Bewegung einer wirklichen Flüssigkeit, etwa von Wasser denkt.

Lässt man aus einem Reservoir Wasser durch eine Röhre von 5 Meter Länge und einem bestimmten Querschnitt ausfliessen, so wird die in einer Minute ausfliessende Wassermenge abhängen von der Reibung in der Röhre, die wir mit dem Widerstand eines Leiters identificiren können. Hat die Röhre statt 5 Meter die doppelte Länge, 10 Meter, so ist die Reibung auch die doppelte, es fliesst also weniger Wasser in der Minute aus.

Hat man dagegen statt einer Ausflussröhre von 10 Meter Länge zwei von je 5 Meter Länge, so fliesst durch diese die doppelte Wassermenge aus als durch eine. Es kommt zwar die Reibung bei jeder Röhre in Betracht, aber durch zwei gleich lange und dicke Röhren fliesst eben die doppelte Wassermenge in der Minute aus.

Qualitativ genau so ist es bei der Elektricität. Je mehr Drähte man hinter einander schaltet, desto grösser ist der Widerstand des Systems, je mehr man neben einander schaltet, desto kleiner.

Man kann die Stromverzweigung noch complicirter machen. Man kann die beiden Zweige einer Leitung wieder durch einen Draht mit einander verbinden, wie in Fig. 47.

Fig. 47.

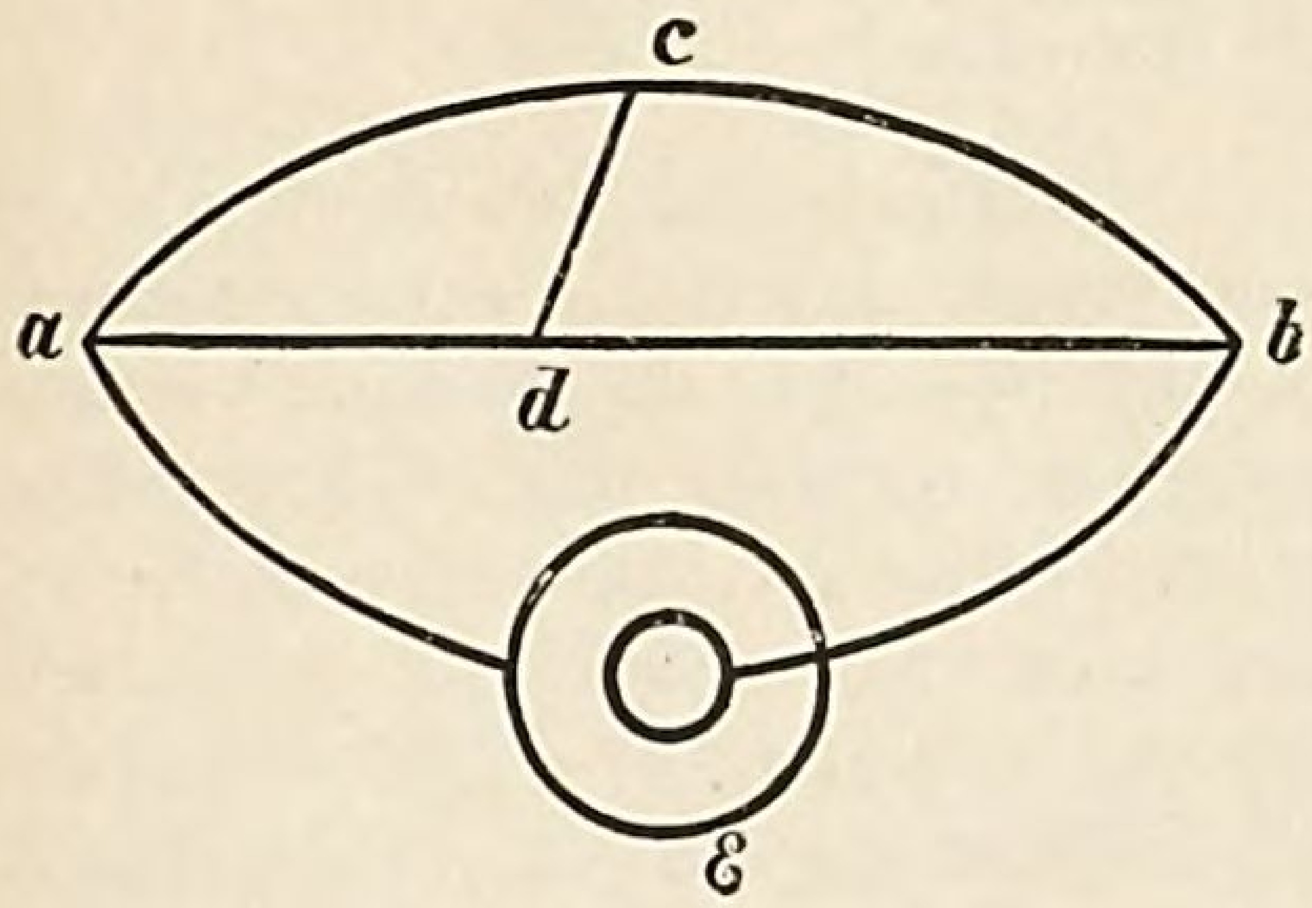
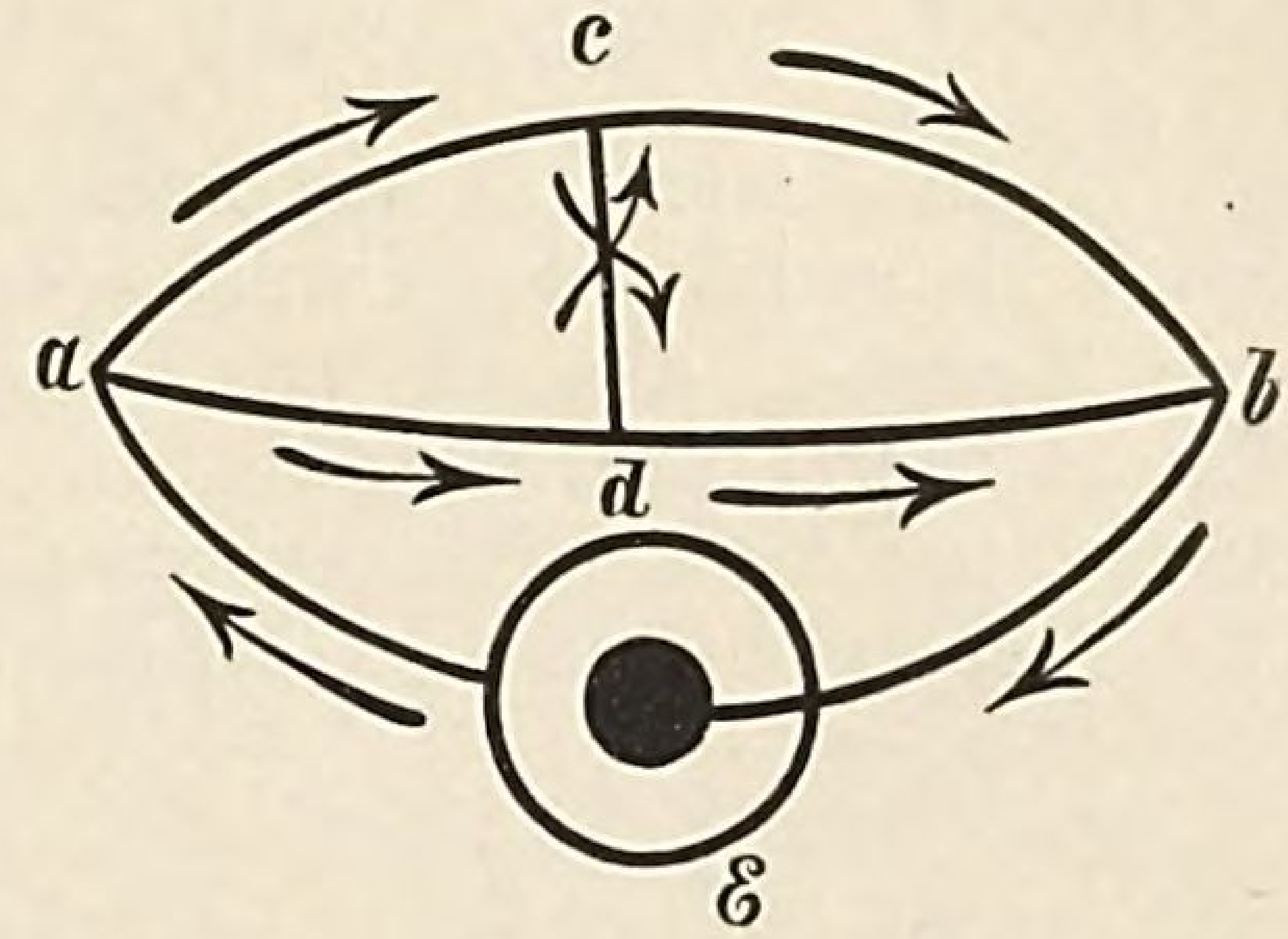


Fig. 48.



Hier sind die beiden Zweige a d b und a c b, die von dem Element E ausgehen, noch durch einen Draht c d verbunden. Diesen Draht nennt man dann die Brücke.

Schon aus einer Betrachtung der Richtungen, in denen der Strom durch die einzelnen Drähte fliesst, wie sie in Fig. 48 gezeichnet sind, lässt sich eine wichtige Eigenschaft dieser Drahtanordnung erkennen. In der Brücke nämlich treffen sich zwei Ströme in entgegengesetzter Richtung, die sich gegenseitig schwächen. Von a c fliesst der Strom nach unten in die Brücke hinein, von a d nach oben. Es ist daher die Möglichkeit vorhanden, dass durch die Brücke ein Strom von der Stärke Null, d. h. gar kein Strom fliesst, während sonst das ganze System von Strömen durchflossen ist. Es wird diese Möglichkeit davon abhängen, wie sich die Stromstärken in den vier Theilen a d, a c, b d und b c zu einander verhalten. Dies lässt sich wieder aus unserer Verallgemeinerung des Ohm'schen Gesetzes für Drahtstücke genauer präcisiren. An den vier Verzweigungspunkten a, c, d, b sind bestimmte Potentiale vorhanden, und wir wollen sie mit diesen Buchstaben selbst bezeichnen. Dann ist alo z. B. die Potentialdifferenz, die die Elektricität durch den Draht c d treibt, gleich c—d. Es ist also

$$\text{Stromstärke in a d} = \frac{a - d}{\text{Widerstand von a d}} \qquad \text{Stromstärke in d b} = \frac{d - b}{\text{Widerstand von d b}}$$

$$\text{Stromstärke in a c} = \frac{a - c}{\text{Widerstand von a c}} \qquad \text{Stromstärke in c b} = \frac{c - b}{\text{Widerstand von c b}}$$

$$\text{Stromstärke in c d} = \frac{c - d}{\text{Widerstand von c d}}.$$

In welchem Fall wird also durch die Brücke kein Strom fliessen? Wenn durch die Brücke c d kein Strom fliessen soll, so muss das Potential c gleich dem Potential d sein. Dann ist also a — d = a — c und d — b = c — b, es verhalten sich also die Stromstärken in a c und a d umgekehrt wie ihre Widerstände und ebenso die in c b und d b. Da durch die Brücke kein Strom fliessen soll, so können wir uns diesen Draht ganz entfernt denken und dann muss also die Stromstärke in

a c gleich der in c b sein, und ebenso die in a d gleich der in d b. Wir haben dann also durch Division die Gleichungen:

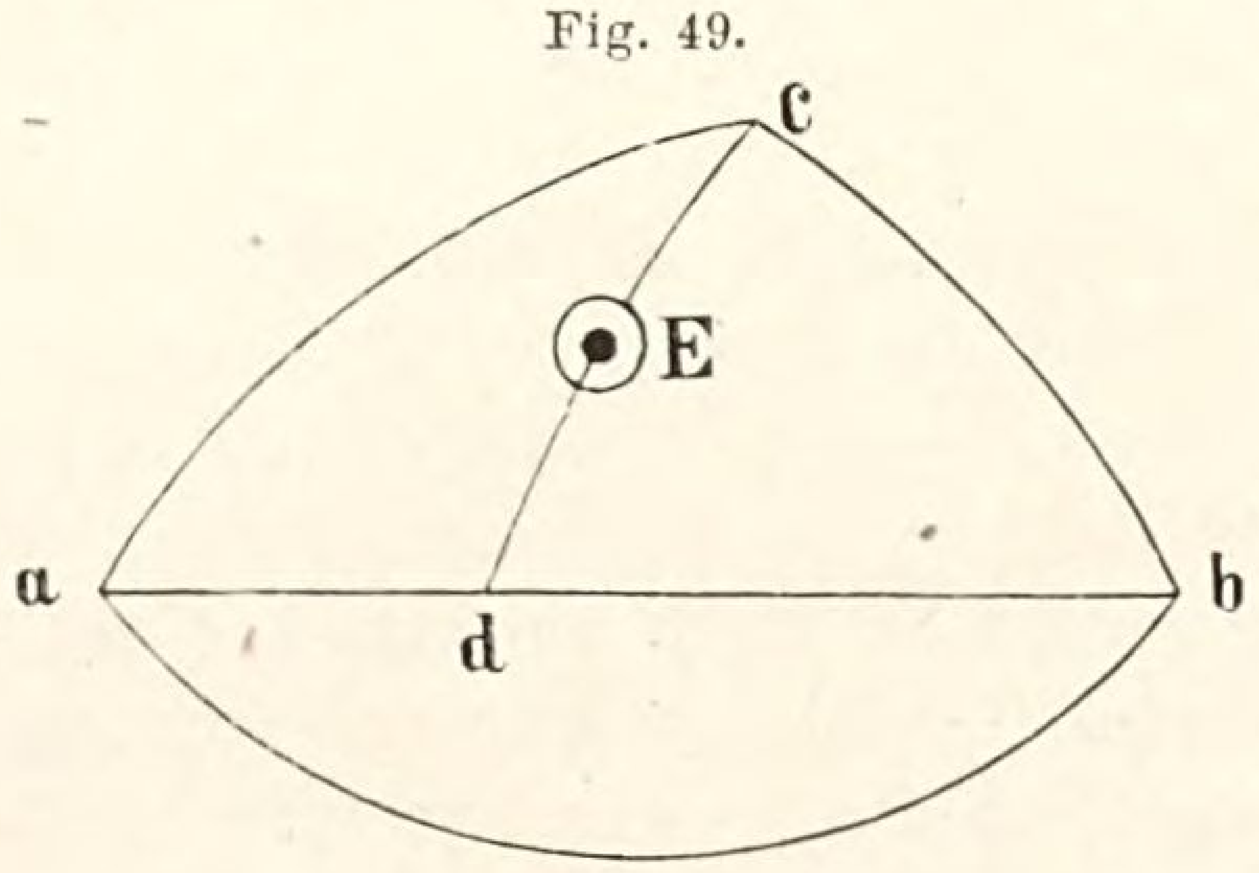
$$\frac{\text{Stromstärke in a d}}{\text{Stromstärke in a c}} = \frac{\text{Widerstand von a c}}{\text{Widerstand von a d}} = \frac{\text{Stromstärke in d b}}{\text{Stromstärke in c b}} = \frac{\text{Widerstand von c b}}{\text{Widerstand von d b}}.$$

Daraus ergiebt sich sofort, dass, wenn in der Brücke kein Strom fliessen soll, die Beziehung bestehen muss:

$$\frac{\text{Widerstand von a c}}{\text{Widerstand von a d}} = \frac{\text{Widerstand von c b}}{\text{Widerstand von d b}}.$$

Man erkennt daraus leicht, dass es möglich ist, auf diese Weise den Widerstand eines Drahtes mit dem eines anderen zu vergleichen, eine Methode, die wir im Folgenden zu beschreiben haben werden. Sie ist zuerst von **Wheatstone** angegeben worden und daher heisst diese ganze Art der Stromverzweigung die **Wheatstone'sche Brücke**. Die Wheatstone'sche Drahtcombination lässt sich auch so auffassen, dass vier Punkte a, d, b, c je mit einem Leiter verbunden sind a d, d b, b c, c a. Die vier Punkte bilden dann die vier Ecken eines Parallelogramms, dessen Seiten eben a d, d b, b c und c a sind. Je zwei gegenüberliegende Eckpunkte eines Parallelogramms werden durch die Diagonalen verbunden. Die eine Diagonale (zwischen c und d) ist also die Brücke, in der andern Diagonale zwischen a und b befindet sich das Element. Wenn also die Widerstände der vier Seiten des Parallelogramms in dem eruirten Verhältniss stehen, so fliesst in der einen Diagonale kein Strom, wenn in der anderen sich ein Element befindet. Die beiden Diagonalen sind aber gleichwerthig. Folglich können wir auch in die Brücke c d unser Element E bringen. Dann fliesst unter den angegebenen Verhältnissen im Zweig a b kein Strom. Diese Anordnung der Wheatstone'schen Combination, die oft benutzt wird, ist in Fig. 49 gezeichnet.

Fig. 49.



Eine noch weiter gehende Complikation kann man in die Stromverzweigung dadurch einführen, dass man in einzelne Zweige noch galvanische Elemente einführt, die von sich aus auch wieder Ströme erzeugen. Wenn in einem Drahtstück noch ein Element sich befindet, so wird die Elektricität durch dieses Drahtstück nicht blos vermöge der von aussen herrührenden Potentialdifferenz seiner Endpunkte hindurchgetrieben, sondern auch durch die in ihm herrschende elektromotorische Kraft. Wirken die Potentialdifferenz und die elektromotorische Kraft nach derselben Richtung, so hängt die Stromstärke in dem Zweig ab von der Summe dieser beiden Grössen. Wirken sie einander entgegen, so hängt die Stromstärke ab von ihrer Differenz und in beiden Fällen von dem Gesammtwiderstand des Zweiges.

Ein Beispiel für diese Stromverzweigung ist in Fig. 50 gezeichnet. Darin sind K_1 Z_1 und K_2 Z_2 zwei Elemente I und II, von denen wir annehmen wollen, dass das zweite eine kleinere elektromotorische Kraft

hat als das erste. Diese beiden Elemente seien nun so geschaltet, dass die Kupfer mit einander und die Zinke mit einander verbunden sind. Ausserdem sei zwischen zwei Punkten B und C wieder eine

Fig. 50.

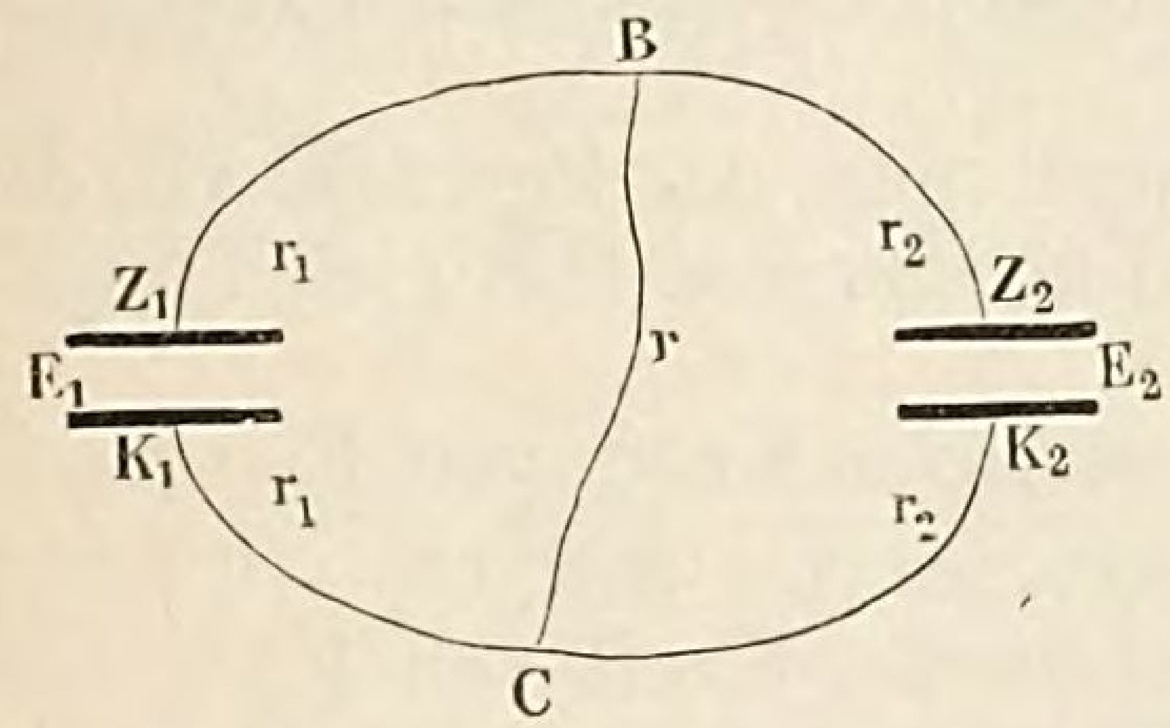
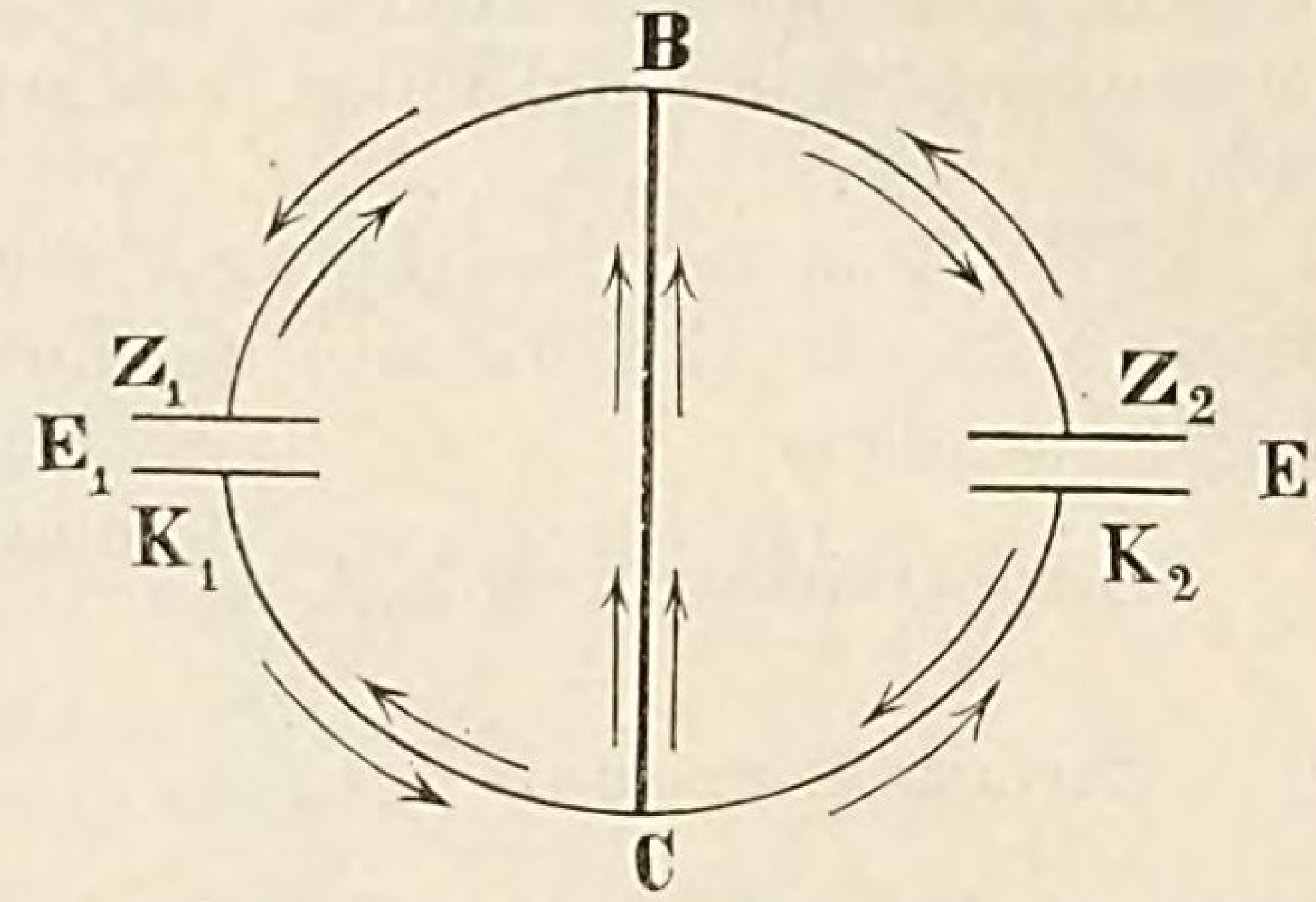


Fig. 51.



Brücke angebracht. Das Schema mit Pfeilen (Fig. 51) zeigt, dass in den Zweigen B E_1 C und B E_2 C sich zwei Ströme entgegenfliessen und es wird daher die Möglichkeit vorhanden sein, dass in dem Zweig B E_2 C mit kleinerer elektromotorischer Kraft die Stromintensität Null ist. Stellen wir die Ausdrücke für die Stromstärken in den einzelnen Zweigen auf. In den Zweigen B E_1 C und B E_2 C befinden sich elektromotorische Kräfte, im Zweige B C nicht. Es ist also

$$\text{Stromstärke in C B} = \frac{\text{Potentialdifferenz von C B}}{\text{Widerstand von C B}}$$

$$\text{Stromstärke in B } E_1 \text{ C} = \frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_1 - \text{Potentialdifferenz von C B}}{\text{Widerstand von B } E_1 \text{ C}}$$

$$\text{Stromstärke in B } E_2 \text{ C} = \frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_2 - \text{Potentialdifferenz von C B}}{\text{Widerstand von B } E_2 \text{ C}}.$$

Unter welchen Verhältnissen kann nun die Stromstärke im Zweige B E_2 C gleich Null sein? Wenn das der Fall sein soll, dann muss die Potentialdifferenz von C und B gleich der elektromotorischen Kraft von E_2 sein. Dann sind also in den beiden andern Zweigen die Stromstärken

$$\text{Stromstärke in C B} = \frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_2}{\text{Widerstand von B C}}$$

$$\text{Stromstärke in B } E_1 \text{ C} = \frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_1 - \text{elektromotorische Kraft von } E_2}{\text{Widerstand von B } E_1 \text{ C}}.$$

Da im Zweige B E_2 C kein Strom fliesst, so können wir ihn uns jetzt ganz fortgelassen denken. Dann fliesst im geschlossenen Kreise B E_1 C B ein einziger Strom, es muss also die Stromstärke in B E_1 C gleich der Stromstärke in C B sein, also:

$$\frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_1 - \text{elektromotorische Kraft von } E_2}{\text{Widerstand von B } E_1 \text{ C}} = \frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_2}{\text{Widerstand von B C}}.$$

Durch Auflösung dieser Gleichung erhält man, dass dann die elektromotorischen Kräfte von E_1 und E_2 in einem bestimmten Verhältniss stehen, wie gewisse Widerstände. Es ergiebt sich nämlich

$$\frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_2}{\text{elektromotorische Kraft von } E_1} = \frac{\text{Widerstand von B C}}{\text{Widerstand von B } E_1 \text{ C} + \text{Widerstand von B C}}.$$

Daraus werden wir später eine Methode entnehmen, um elektromotorische Kräfte mit einander zu vergleichen.

Wenn wir in derselben Stromverzweigung nur die eine Aende-

rung vornehmen, dass wir nicht die Kupfer mit einander und die Zinke mit einander verbinden, sondern vielmehr das Zink des einen Elements mit dem Kupfer des andern verbinden, so verstärken sich die beiden Ströme in den Zweigen $B E_1 C$ und $B E_2 C$. Dagegen fliessen jetzt in der Brücke zwei Ströme gegen einander und diese können sich daher aufheben. Wir wollen untersuchen, wann das der Fall ist.

Fliesst in der Brücke kein Strom, dann muss das Potential von B gleich dem von C sein, also die Potentialdifferenz von C B gleich Null. Mithin ist dann

$$\text{Stromstärke in } B E_1 C = \frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_1}{\text{Widerstand von } B E_1 C}.$$

$$\text{Stromstärke in } B E_2 C = \frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_2}{\text{Widerstand von } B E_2 C}.$$

Wenn in B C aber kein Strom fliesst, so können wir den Draht B C ganz fortnehmen; dann ist blos ein unverzweigter Stromkreis vorhanden, in welchem die Stromstärke überall dieselbe sein muss. In diesem Falle ist also

$$\frac{\text{elektromotorische Kraft von } E_2}{\text{elektromotorische Kraft von } E_1} = \frac{\text{Widerstand von } B E_1 C}{\text{Widerstand von } B E_2 C}.$$

Auch dieses Resultat werden wir dazu benutzen, um das Verhältniss zweier elektromotorischer Kräfte zu bestimmen.

Auf dieselbe Weise, wie es in diesen vier speciellen Fällen geschehen ist, kann man in jedem beliebig complicirten Fall der Stromverzweigung sich in die Verhältnisse der Stromstärken eine Einsicht verschaffen. Es hat Kirchhoff das Ohm'sche Gesetz auf diesen allgemeinen Fall der Stromverzweigung ausgedehnt und dafür folgende beide Gesetze aufgestellt:

1) An jeder Stelle, wo mehrere Drähte zusammenstossen, muss die Summe aller Intensitäten (jede mit dem der Richtung ihres Stromes entsprechenden Vorzeichen genommen) gleich Null sein.

Dieses Gesetz heisst nichts anderes, als dass in jeder Sekunde von einer solchen Treffstelle ebenso viel Elektricität fortströmen muss, als zu ihr hinfliesst. Denn sonst würde ja dort eine Anhäufung von Elektricität stattfinden.

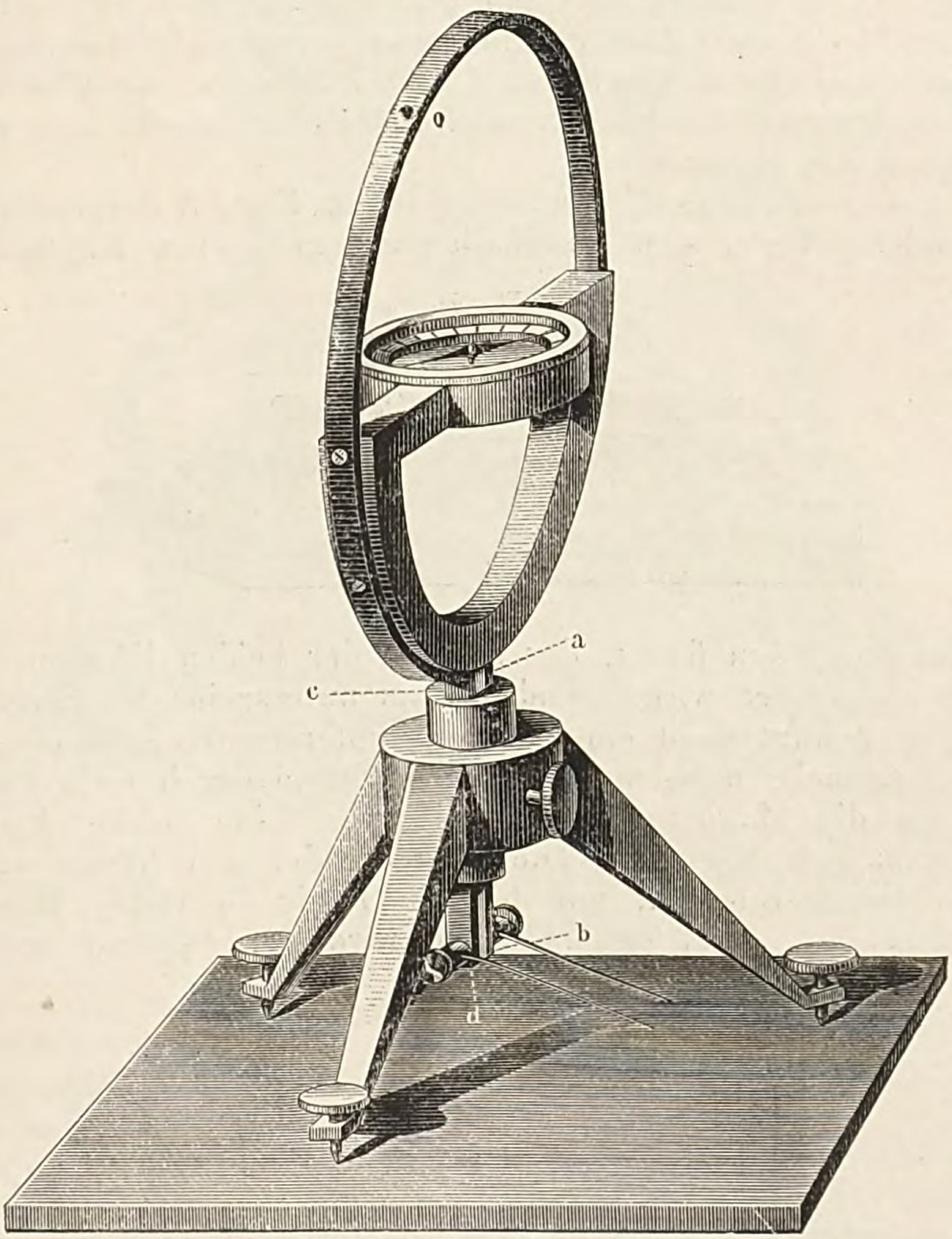
2) Man bilde für jeden einzelnen Draht das Produkt aus seiner Stromstärke und seinem Widerstand (d. i. die Potentialdifferenz seiner Endpunkte). In jedem ganz geschlossenen Theil des verzweigten Systems muss die Summe dieser Produkte gleich der in diesem Theil faktisch wirkenden elektromotorischen Kraft sein.

Diese beiden Gesetze nennt man die Kirchhoff'schen Gesetze der Stromverzweigung.

Mit den bisher besprochenen Gesetzen sind die Grundgesetze des galvanischen Stromes, soweit sie seine Stärke, deren Abhängigkeit von der elektromotorischen Kraft der Kette und vom Widerstand des gesammten Schliessungskreises betreffen, vollkommen bekannt. Es ist

nur nöthig, dass man alle diese Grössen auch wirklich messen kann und dass man sie auf bestimmte Einheiten reducirt, die ein für allemal feststehen, damit man von Stromstärken, von elektromotorischen Kräften, von Widerständen ebenso mit bestimmten Zahlen sprechen kann, wie von Längen und Gewichten. Es sind also Messmethoden für diese elektrischen Grössen anzugeben und gewisse Einheiten für sie festzusetzen.

Fig. 52.

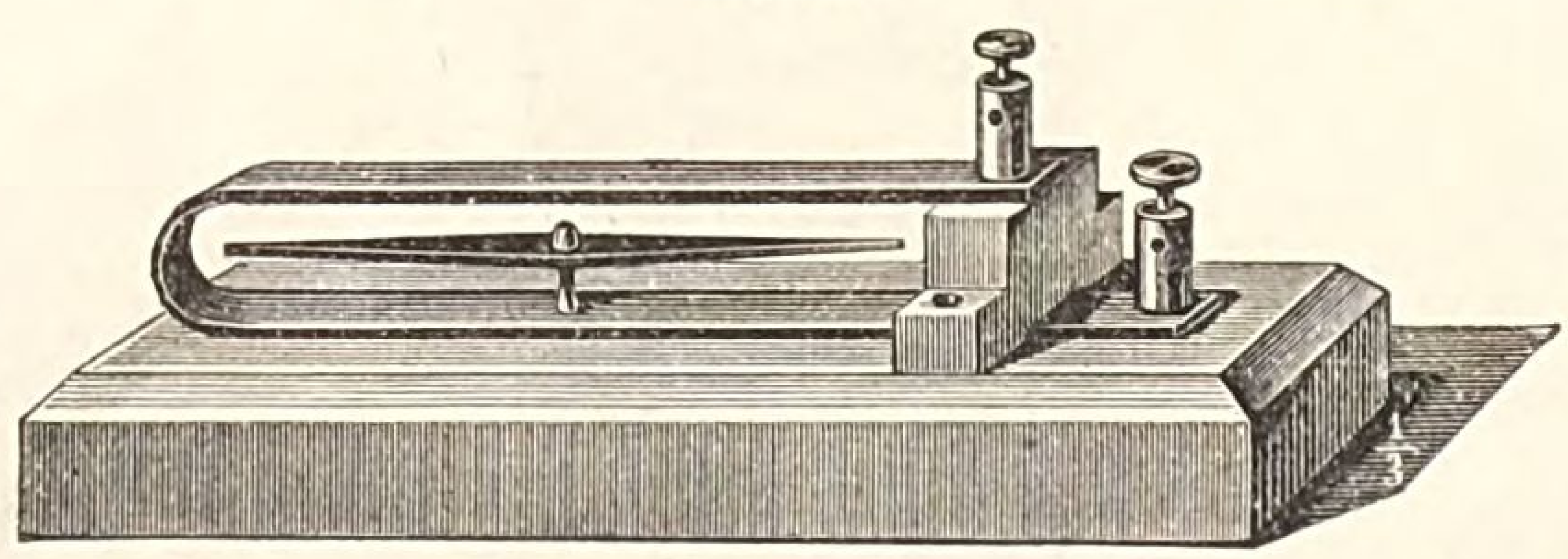


Wir beginnen, um diese Verhältnisse zu entwickeln, mit der Stromstärke. Zur Messung der Stromintensität hatten wir bereits einen Apparat kennen gelernt, die Tangentenbussole. Eine einfache Form derselben giebt Fig. 52. Der Strom wird bei b in den Apparat eingeführt, fliesst durch den Kupferkreis o hindurch und kommt zu d, von wo aus er wieder zum Element zurückgeführt wird. Innerhalb des Kupferkreises befindet sich die Magnetnadel, die durch den Strom abgelenkt wird und deren Ablenkung ein Mass für die Stromstärke ist.

Sehr häufig braucht man aber für elektrische Untersuchungen gar nicht einen Apparat, mit dem man Stromstärken wirklich zu messen im Stande ist, sondern es genügt ein Apparat, der nur das Vorhandensein von Strömen in einem Leiter, insbesondere von sehr schwachen Strömen anzeigt. Für sehr geringe Stromstärken ist die Tangentenbussole nicht brauchbar, weil der Strom in dem Kreise dann zu geringe Ablenkung auf die Magnetnadel ausübt. Um sehr schwache Ströme anzuzeigen, hat man daher andere Apparate, Galvanoskope, construirt. Man braucht blos um eine Magnetnadel oder ein Nadelpaar einen Draht einmal oder mehreremal recht nahe herumzuwinden und dann einen Strom durch den Draht zu senden, so wird auch bei schwachen Strömen die Magnetnadel kräftig abgelenkt und zeigt die Anwesenheit des Stromes an.

Ein sehr einfaches Galvanoskop ist in Fig. 53 dargestellt. Eine Magnetnadel befindet sich innerhalb eines gebogenen Kupferstreifens,

Fig. 53.



durch den der Strom fliesst, der mittelst der beiden Klemmschrauben ein- und ausgeführt wird. Sind die zu untersuchenden Ströme sehr schwach, so genügt nicht ein einziger Kupferstreifen oder eine Drahtwindung, vielmehr muss man dann den Strom durch viele Drahtwindungen um die Magnetnadel herumleiten. Eine solche Anordnung zeigt schematisch Fig. 54. Die Magnetnadel a b hängt an einem Faden in einem Rahmen, um den ein Draht in vielen Windungen herumgeführt ist. Viel empfindlicher wird der Apparat aus später

Fig. 54.

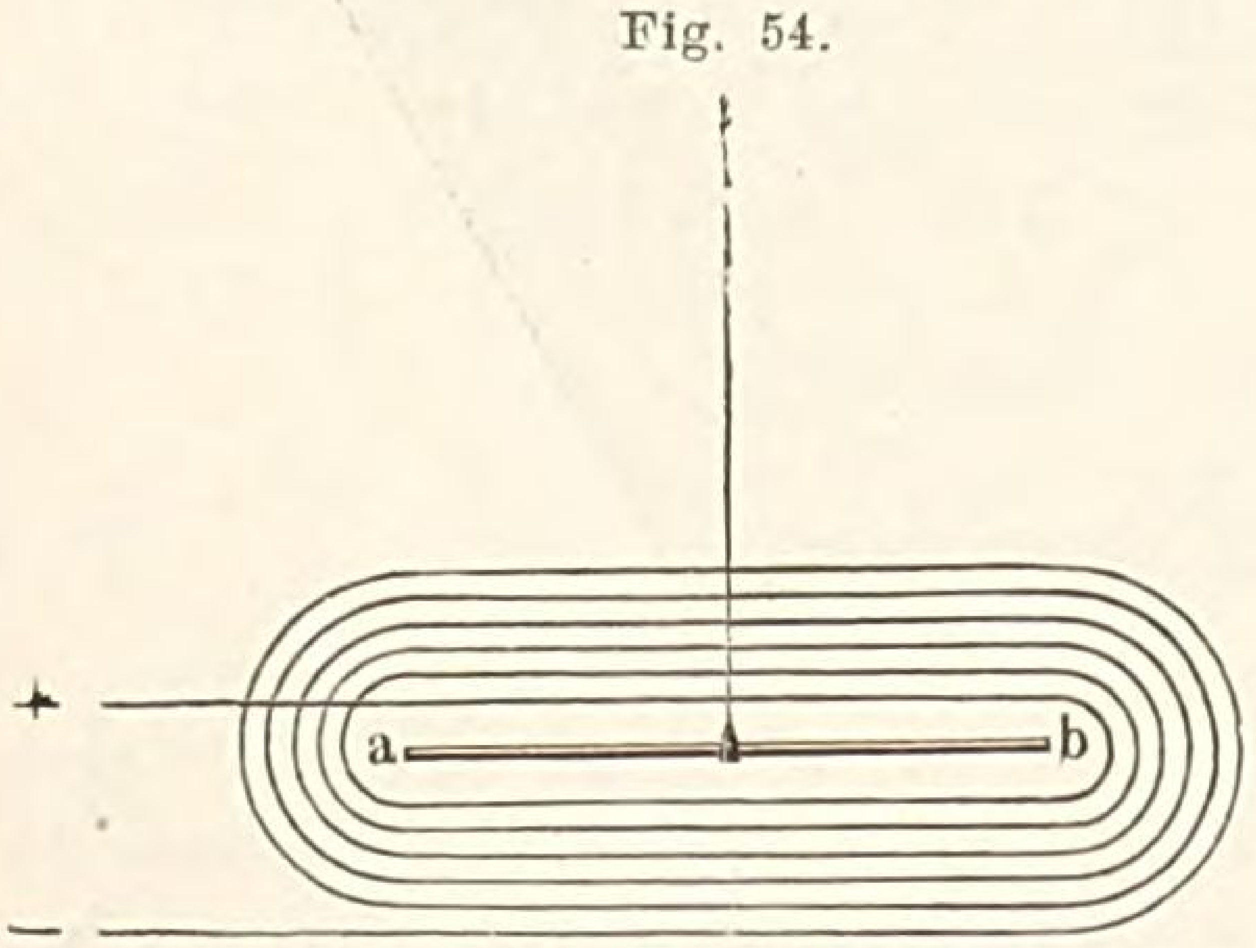
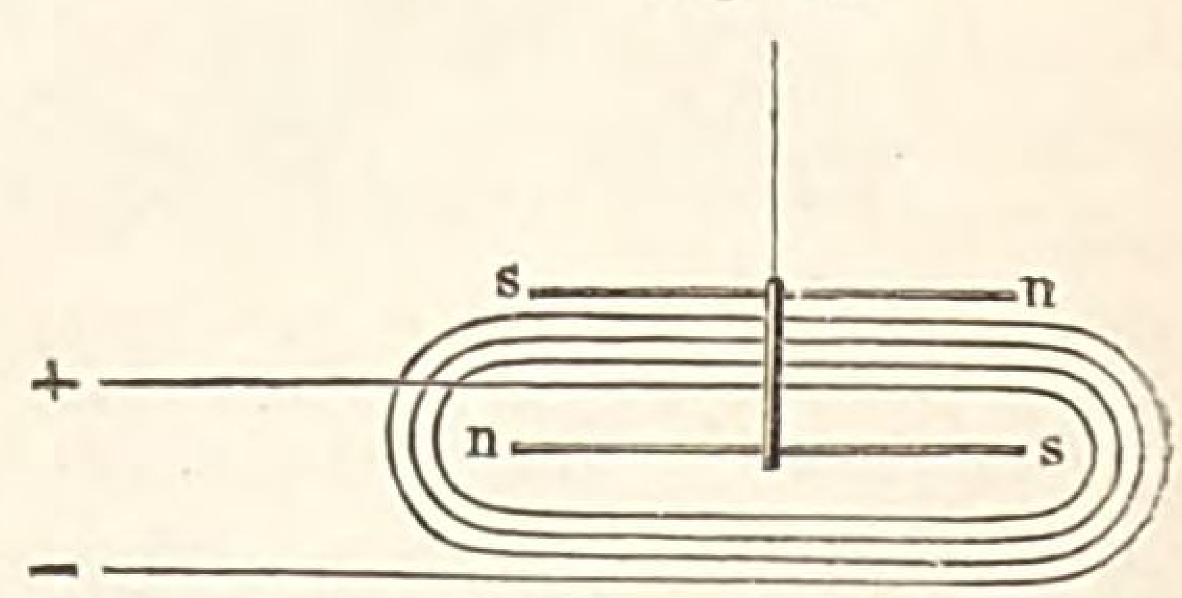


Fig. 55.

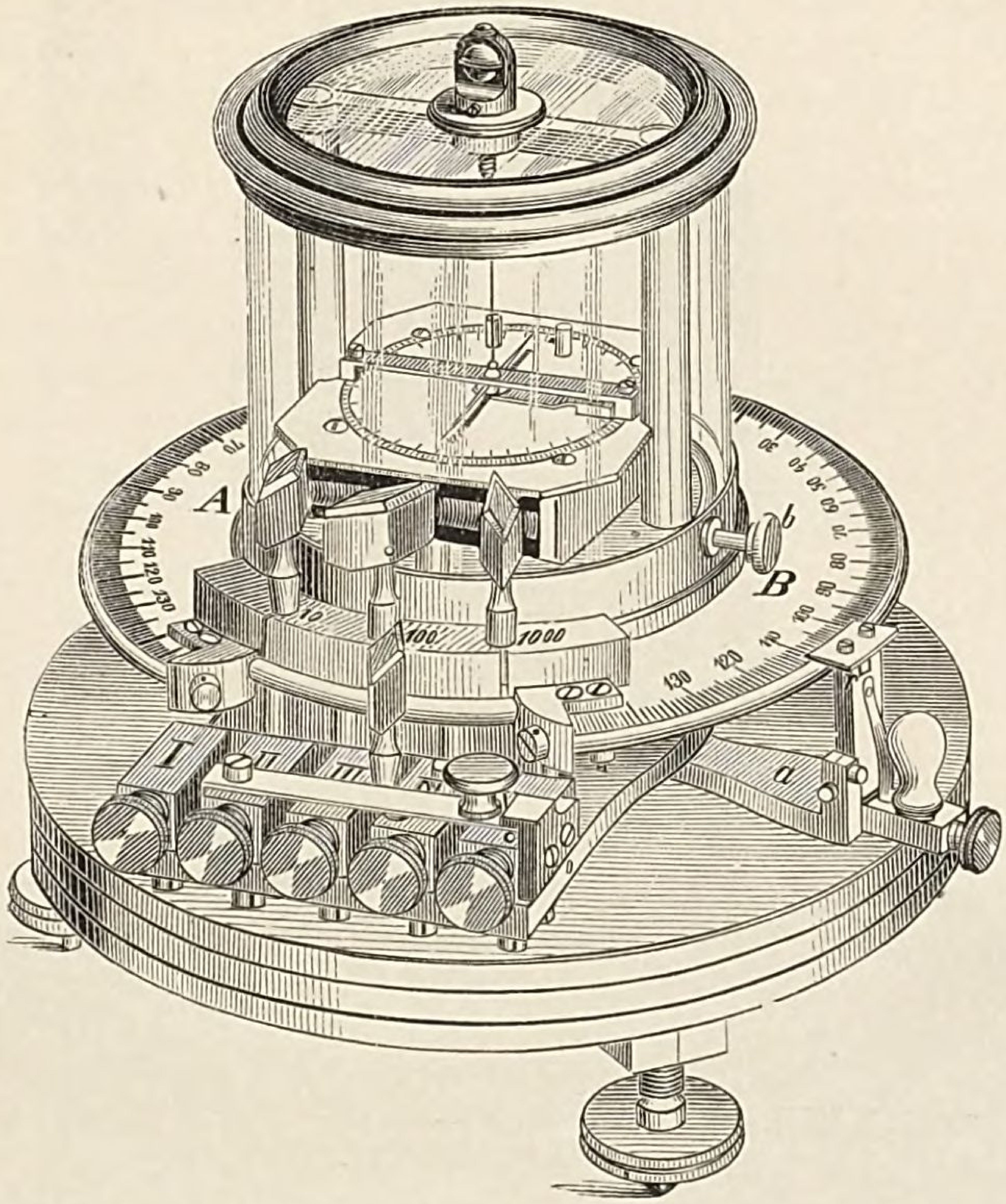


sich ergebenden Gründen, wenn man nicht eine einzige Magnetnadel, sondern ein Nadelpaar anwendet, deren Pole entgegengesetzt liegen, wie in Fig. 55 n s und s n, ein sogenanntes „astatisches“ Nadelpaar. Die eine Nadel hängt innerhalb des Rahmens, die andere mit ihr verbundene ausserhalb desselben. Die letztere lässt man über einer Kreis-

theilung sich bewegen. Schickt man nun einen, wenn auch sehr schwachen Strom durch die Drahtwindungen, so werden die Nadeln abgelenkt.

In dieser Weise ist das Universalgalvanoskop von Siemens eingerichtet, von dem Fig. 56 vorläufig die äussere Ansicht giebt. In

Fig. 56.

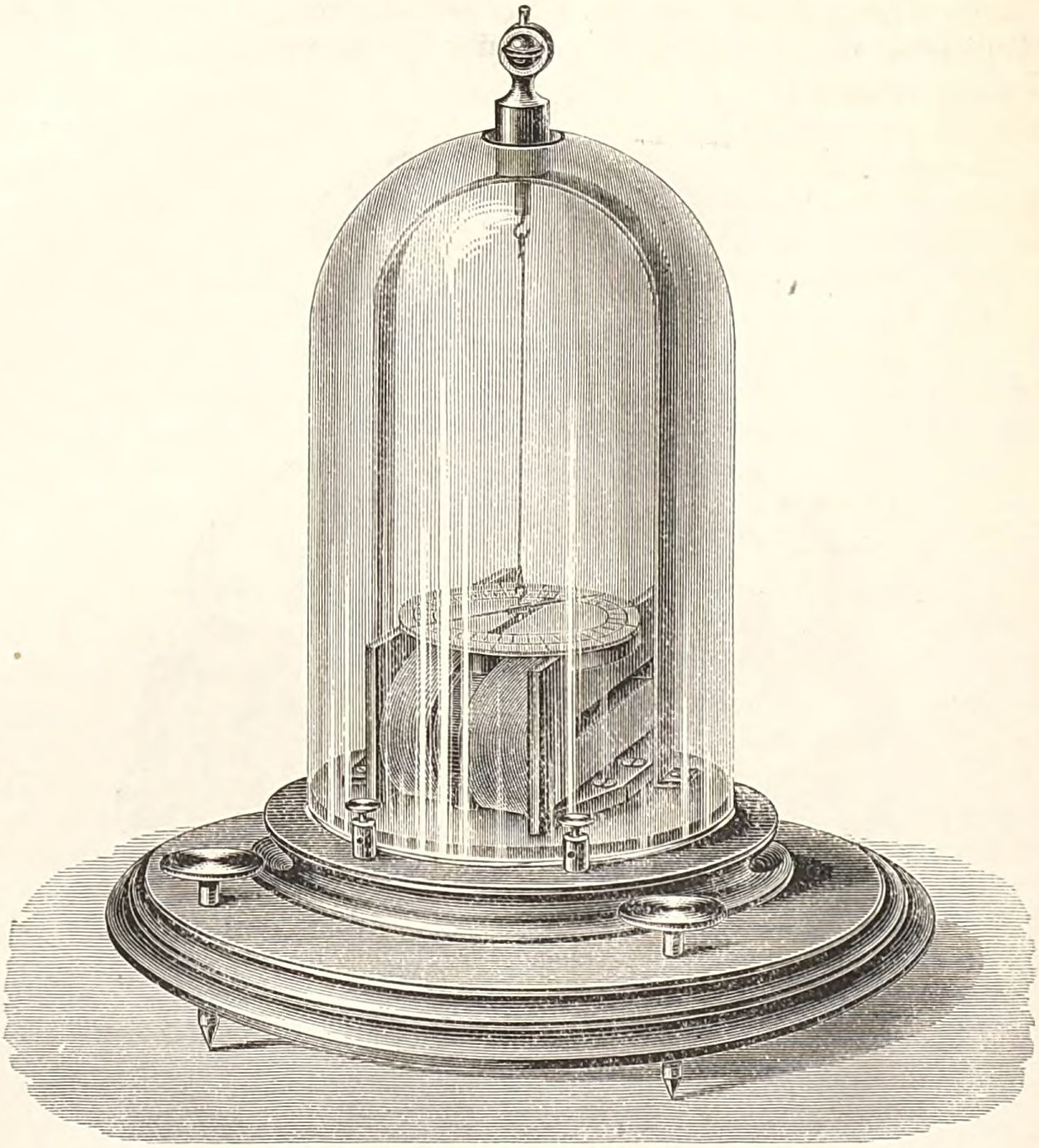


dem Instrument sind viele Theile vereinigt. Uns interessirt hier nur das eigentliche Galvanoskop, das, in einem Glasgehäuse eingeschlossen, den oberen Theil des Apparates bildet. Man sieht über einer Kreistheilung die eine Nadel eines (astatischen) Nadelpaares an einem Faden aufgehängt. Unter der Kreistheilung befindet sich der Rahmen mit sehr vielen Umwindungen eines feinen Drahtes, durch den der Strom gesendet wird, dessen Vorhandensein das Galvanoskop anzeigen soll.

Zum Messen von Strömen lassen sich die Galvanoskope ohne Weiteres nicht verwenden, weil man nicht einfach angeben kann, in welcher Weise die Nadelausschläge von den Stromstärken abhängen. Wohl aber kann man sagen, dass immer, wenn der Nadelausschlag der gleiche ist, auch die Stromstärke, die ihn hervorbringt, die frühere ist. Die Galvanoskope können also auch dazu dienen, die Gleichheit oder Ungleichheit von Strömen zu constatiren. Die Ansicht eines andern recht empfindlichen Galvanoskops giebt Fig. 57. Seine Einrichtung

ist nach dem Gesagten leicht verständlich. Der Strom wird durch die beiden Klemmschrauben zu den Drahtwindungen des Apparats geführt.

Fig. 57.



Galvanoskope, die zu wirklichen Messungen benutzt werden können, nennt man Galvanometer oder Multiplikatoren. Wir werden in Kap. 6 derartige Galvanometer zu beschreiben haben.

Die zweite Grösse, welche bei allen Strömen auftritt, ist der Widerstand. Wir haben gesehen, dass der Widerstand eines Drahtes abhängt von seiner Grösse und Form und von seinem Material. Es hat also ein jeder Stoff seine bestimmte Zahl, seinen specifischen Widerstand, welcher angiebt, wie vielmal der Widerstand eines Drahtes von bestimmter Länge und bestimmtem Querschnitt aus diesem Material grösser oder kleiner ist, als der Widerstand z. B. eines Kupferdrahtes von derselben Länge und demselben Querschnitt. Diese Zahl ist der specifische Widerstand der betreffenden Substanz, bezogen auf Kupfer.

In der folgenden Tabelle sind die specifischen Widerstände einer

Reihe von festen Leitern angegeben, bezogen auf Kupfer als Einheit. Diese Zahlen rühren von Matthiessen her.

Namen der Leiter:	Specifischer Widerstand:
Kupfer	1,00
Silber	0,77
Gold	1,38
Aluminium	2,29
Zink	2,82
Eisen	5,36
Zinn	6,76
Platin	7,35
Blei	9,96
Antimon	18,07
Quecksilber	47,48
Wismuth	64,52
Neusilber	10,09
Graphit	1106,0
Gaskohle	2037,0.

Je grösser der specifische Widerstand eines Metalles ist, desto schlechter leitet er den galvanischen Strom. Man sieht also aus diesen Zahlen, dass Silber den Strom am besten leitet, nachher kommt Kupfer und dann ordnen sich die anderen Stoffe in umgekehrter Reihe, wie nach ihrem specifischen Widerstand. Graphit und Gaskohle leiten den elektrischen Strom elfhundert-, ja zweitausendmal schlechter, als Kupfer, trotzdem sind sie noch ganz gute Elektricitätsleiter. Die gute Leitungsfähigkeit des Kupfers, die ja nur von der des Silbers etwas übertroffen wird, ist der Grund, warum man für den Durchgang von elektrischen Strömen meistens Kupferdrähte nimmt. Für lange Leitungen, für Telegraphenleitungen, ist das Kupfer allerdings zu theuer, und man bedient sich dann der Eisendrähte, deren Kosten viel geringer, deren Leitungsfähigkeit aber auch nur ungefähr der sechste Theil von der des Kupfers ist.

Man bezieht auch den specifischen Widerstand statt auf Kupfer als Einheit oft auf Quecksilber als Einheit. Dann ergeben sich z. B. folgende Zahlen:

Namen der Metalle:	Specifischer Widerstand:
Quecksilber	1,0000
Silber	0,0163
Kupfer	0,0210
Zink	0,0594
Eisen	0,1129
Platin	0,1548
Blei	0,2098
Neusilber	0,2125.

Das Umgekehrte des specifischen Widerstandes nennt man die specifische Leitungsfähigkeit der Substanz. Es ist also z. B. die specifische Leitungsfähigkeit des Bleies, bezogen auf Kupfer $= \frac{1}{9,96}$,

also ungefähr $\frac{1}{10}$, bezogen auf Quecksilber ist sie $\frac{1}{0{,}2098}$, also ungefähr = 5. Blei leitet etwa 10mal schlechter als Kupfer, aber etwa 5mal so gut wie Quecksilber.

Es sind in den obigen Tabellen nur feste Körper — Metalle und Kohle — enthalten und Quecksilber, die einzige metallische Flüssigkeit. Auch viele nichtmetallische Flüssigkeiten leiten den elektrischen Strom mehr oder minder, setzen also auch seinem Durchgang einen gewissen Widerstand entgegen, der aber sehr viel grösser ist als der der Metalle. Die meisten untersuchten Flüssigkeiten sind Lösungen von Salzen in Wasser und einige Säuren. Die specifische Leitungsfähigkeit derselben hängt von ihrer Concentration ab, sie ist eine andere bei einer Kupfervitriollösung, die 5 % Kupfervitriol enthält, als bei einer, die 20 % enthält. Ausserdem hängt die Leitungsfähigkeit bei den Flüssigkeiten ebenso wie bei den Metallen von der Temperatur ab. Die folgenden Zahlen beziehen sich auf die Temperatur von 18° C. und geben die specifische Leitungsfähigkeit auf Quecksilber als Einheit bezogen.

	(Quecksilber = 1.)
Schwefelsäure von 30,4 % hat die spec. Leitungsfähigkeit	$\frac{6914}{100{,}000{,}000}$
Bittersalzlösung mit 17,3 % Bittersalz	$\frac{456}{100{,}000{,}000}$
Zinkvitriollösung mit 23,7 % Zinkvitriol	$\frac{452}{100{,}000{,}000}$
Kochsalzlösung mit Kochsalz gesättigt	$\frac{2015}{100{,}000{,}000}$
Essigsäure von 16,6 %	$\frac{15{,}2}{100{,}000{,}000}$

Vollkommen reines Wasser leitet den elektrischen Strom gar nicht, ist also ein Isolator. Aber die geringsten Beimengungen von fremden Stoffen genügen schon, um Wasser ziemlich gut leitend zu machen.

Wie eben erwähnt, ändert sich die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten mit der Temperatur. Aber nicht blos die der Flüssigkeiten, sondern überhaupt aller Leiter. Hierbei findet aber ein wesentlicher Unterschied zwischen Metallen und Flüssigkeiten statt. Bei Metallen nämlich wird die Leitungsfähigkeit bei höherer Temperatur kleiner, bei Flüssigkeiten wird sie grösser. Metalle setzen also bei höherer Temperatur dem galvanischen Strom einen grösseren Widerstand entgegen, Flüssigkeiten einen kleineren. Wie die Metalle verhält sich auch Quecksilber, welches ja ein Metall ist, wie die Flüssigkeiten dagegen Kohle. Der Widerstand der Kohle nimmt ab bei höherer Temperatur.

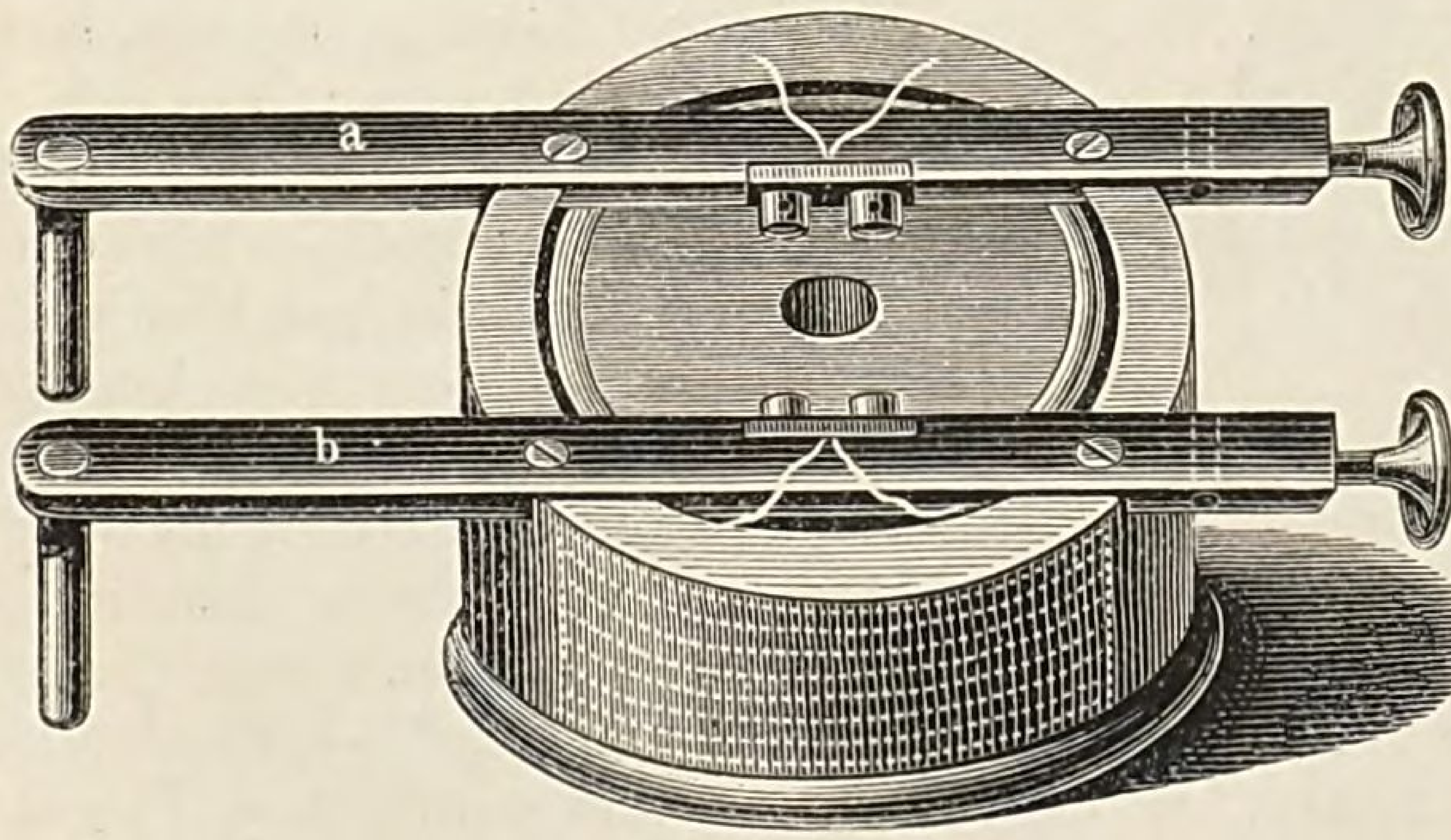
Wenn zwei Leiter an einander grenzen und die Elektricität zwischen ihnen übergehen soll, so muss die Verbindung beider Leiter eine sehr gute sein, weil sonst der Strom einen sehr grossen Widerstand an der Trennungsstelle findet. Man klemmt also gewöhnlich die Enden zweier Drähte durch Schrauben fest, damit sie sich vollkommen be-

rühren. Bei der Kohle insbesondere ist es sehr auffällig, wie sehr eine schlechte Berührung zweier Kohlen den Widerstand derselben erhöht. Ein ganz geringer Druck auf die Berührungsstelle zweier Kohlen verringert den Widerstand beim Uebergang der Elektricität aus der einen zur anderen schon sehr bedeutend. In dem Mikrophon, das im zweiten Theil, Kap. 7 besprochen ist, ist davon eine sehr wichtige Anwendung gemacht.

Um nun Widerstände von Drähten vergleichen zu können, um ein Mass für sie zu haben, muss man sich über eine Einheit verständigen. Es ist in Deutschland bisher als Einheit ein Widerstand in Gebrauch gewesen, der von Siemens eingeführt wurde, die sogenannte Siemens-Einheit des Widerstandes. Siemens schlug nämlich vor, als Einheit des Widerstandes den Widerstand einer Quecksilbersäule zu nehmen von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt. Eine solche Einheit lässt sich stets leicht genau darstellen, da man Quecksilber leicht rein erhalten kann.

Man braucht also nur eine solche Widerstandseinheit verfertigt zu haben, um von jedem beliebigen Drahte angeben zu können, wie vielmal grösser oder kleiner sein Widerstand ist, als der der Einheit. Man nennt die Einheit auch kurz 1 Siemens und spricht von einem Widerstand von 12 Siemens, wie man von einer Länge von 12 Meter spricht. Siemens selbst verfertigt Normaleinheiten, welche genau 1 Siemens Widerstand haben. Sie werden der Bequemlichkeit halber nicht direkt aus Quecksilbersäulen gemacht, sondern aus Neusilberdrähten, deren Länge und Querschnitt so abgemessen ist, dass der ganze Draht genau denselben Widerstand hat, wie eine Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt. Eine solche Normaleinheit, wie sie Siemens verfertigt und in den Handel bringt, ist in Fig. 58 dargestellt.

Fig. 58.

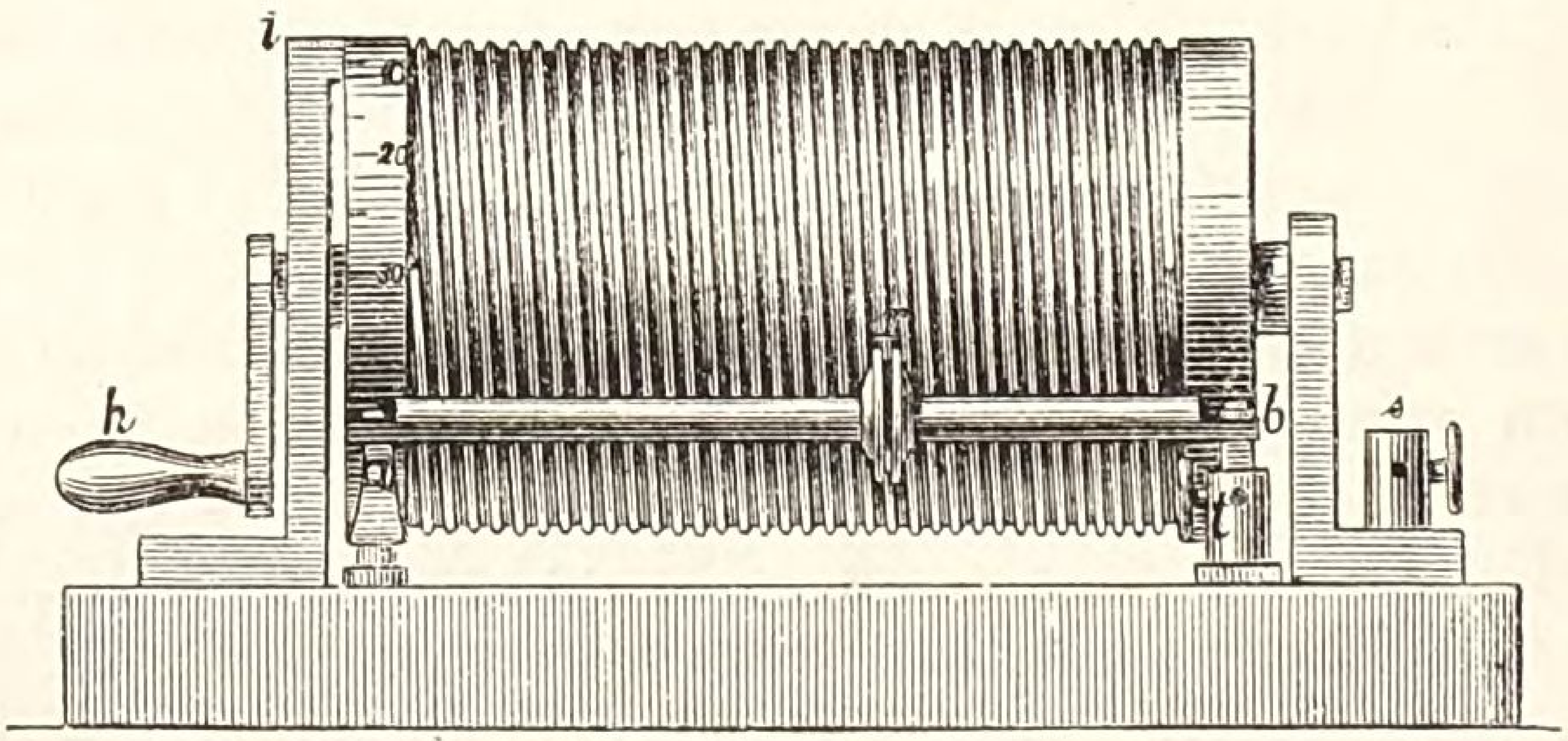


Die Siemens'sche Einheit des Widerstandes ist eine willkürliche, conventionelle. Man hätte ebenso gut den Widerstand eines anderen Metalldrahtes von anderer Länge und anderem Querschnitt als Einheit nehmen können. Wir werden weiter unten sehen, wie man eine absolute Widerstandseinheit festsetzen kann und festgesetzt hat.

Es ist oft für elektrische Untersuchungen nothwendig, eine Reihe

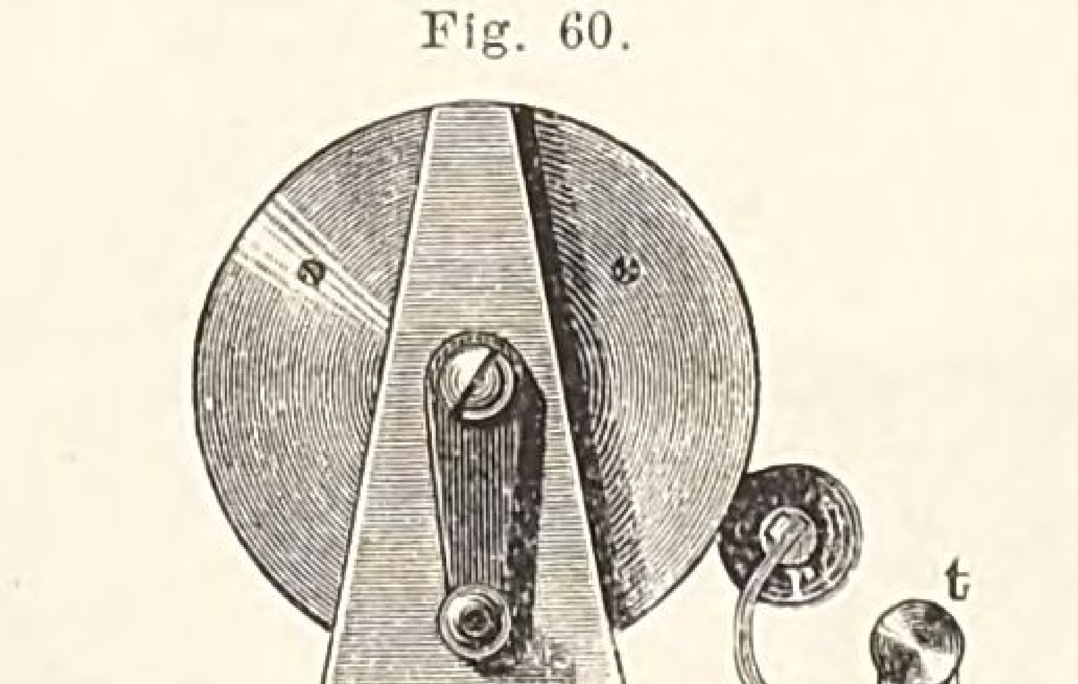
von verschieden grossen Widerständen zu haben, um sie in den Kreis eines Stromes einzuschalten, theils um dadurch den Strom auf eine gewünschte Stärke zu bringen, theils um unbekannte Widerstände mit bekannten vergleichen zu können. Es genügt dazu natürlich, wenn man eine Reihe von Drähten hat, deren Widerstände man genau kennt. Oft will man aber in einem Experiment rasch den Widerstand vergrössern oder verkleinern, ohne erst einen Widerstand auszuschalten und dafür einen anderen einzuschalten. Man hat deshalb eigene Apparate construirt, die man Rheostaten nennt. Ein solcher Rheostat ist in Fig. 59 und 60 dargestellt. Ein Kupfer- oder Neusilber-

Fig. 59.



draht von überall gleichem Querschnitt ist schraubenförmig auf einen Marmorcylinder aufgewunden. Das eine Ende des Drahtes ist mit der Klemmschraube s leitend verbunden, das andere aber ist an dem Marmor befestigt, so dass durch diesen ganzen Draht kein Strom fliessen kann, da Marmor ja ein Nichtleiter ist. Um nun durch einen beliebigen Theil des Drahtes den Strom fliessen lassen zu können, drückt sich das messingene Röllchen r an den Draht an. Das Röllchen selbst ist auf der Metallstange a b verschiebbar und diese ist mit der Klemmschraube t verbunden. In der Figur kann also ein elektrischer Strom aus einem Element bei s eingeführt werden, durch den Draht bis zum Röllchen r fliessen, von diesem dann durch die Messingstange a b bis zur Klemmschraube t und dann zum Element zurückfliessen. Um nun das Röllchen r an verschiedene Stellen des Drahtes bringen zu können, ist der Marmorcylinder mit dem Draht durch die Kurbel h drehbar. Dann verschiebt sich durch die Drehung des Cylinders das Röllchen r auf a b und so können verschieden lange Theile des Drahtes vom Strom durchflossen werden.

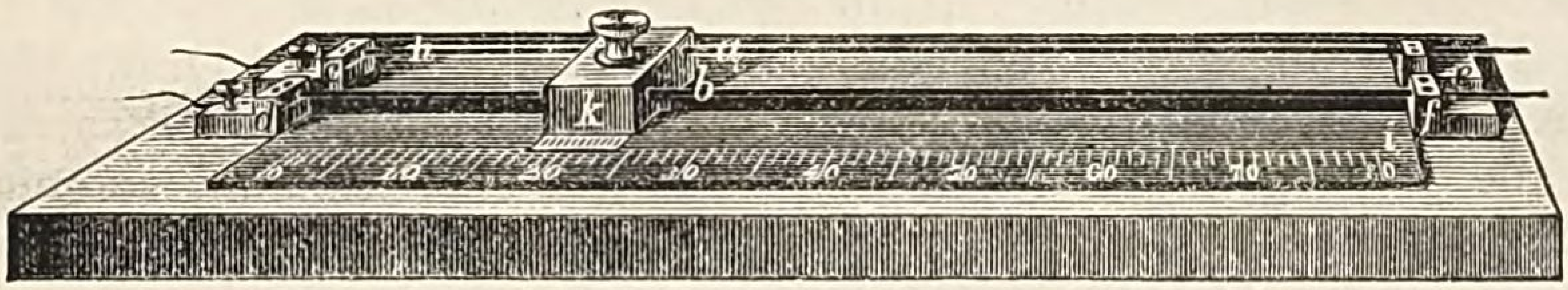
Fig. 60.



Auf diese Weise kann man durch Drehen der Kurbel h grössere oder geringere Längen des Drahtes in den Stromkreis einschalten. Zugleich giebt eine Theilung an, wie lang das eingeschaltete Stück des Drahtes, wie gross also sein Widerstand ist.

Für kleinere einzuschaltende Widerstände dient der in Fig. 61 abgebildete Rheostat oder Rheochord von Poggendorff. Er besteht aus zwei getrennten Platindrähten a und b von gleicher Länge, deren

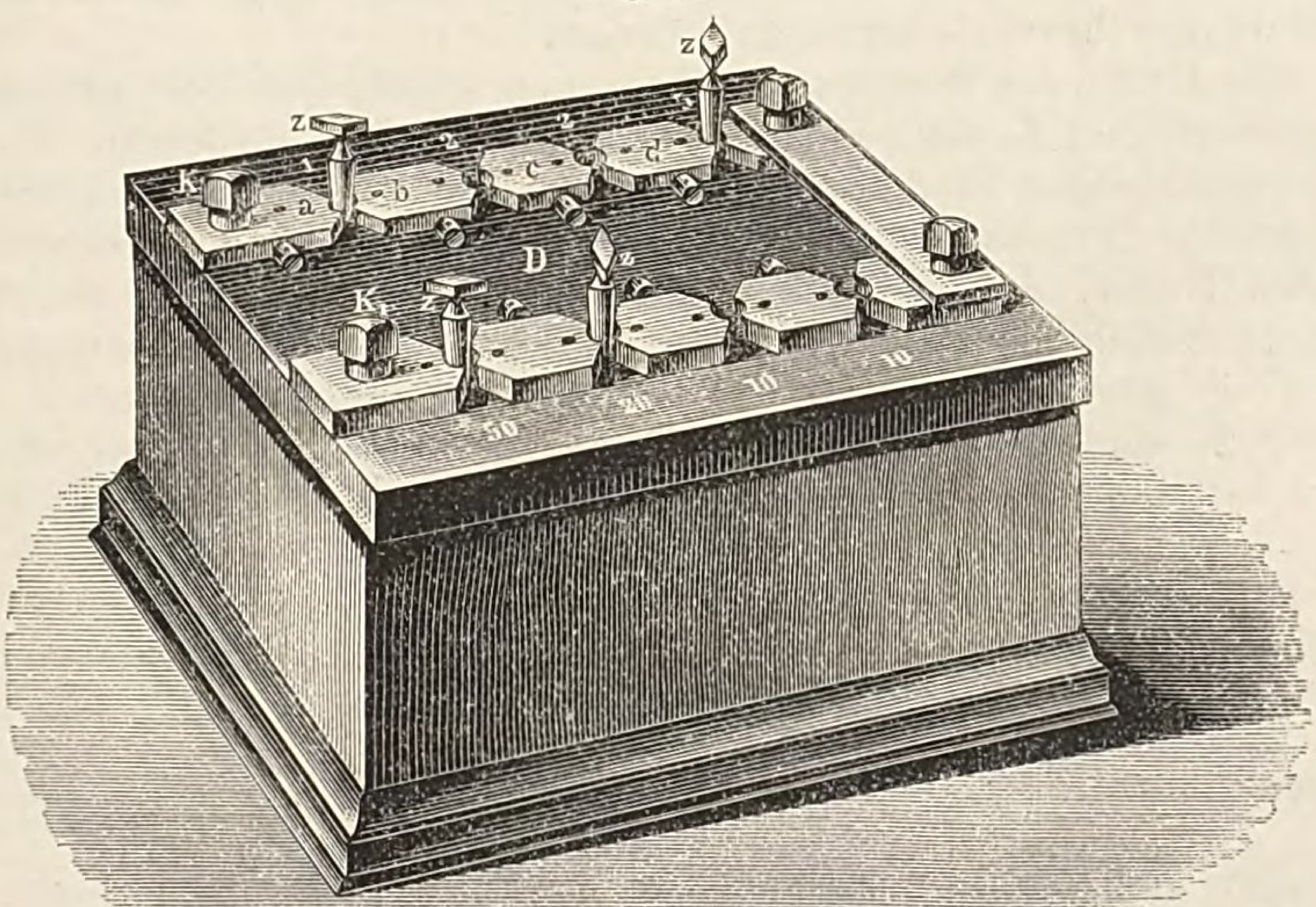
Fig. 61.



Widerstände bekannt sind. Die beiden Platindrähte gehen ganz streng durch zwei Löcher in dem Glasgefäss k, das mit Quecksilber gefüllt ist. Der Strom kommt nun z. B. in d ein, geht durch das Stück des Platindrahtes b bis zum Schlitten k, durch den Schlitten zu a, und durch a bis zur Klemmschraube c, von wo aus er zum Element zurückgeht. Je nachdem der Schlitten auf den Platindrähten vor oder zurück geschoben wird, werden grössere oder geringere Längen der Platindrähte vom Strom durchflossen, ist also der eingeschaltete Widerstand ein grösserer oder kleinerer.

Endlich hat Siemens einen Rheostaten construirt, den man den Siemens'schen Widerstandskasten oder Stöpselrheostaten, Fig. 62, nennt. Auf dem Deckel des Kastens befindet sich eine Reihe

Fig. 62.



von dicken Messingplatten a, b, c, d . . ., deren Ränder wenig von einander entfernt sind und die bogenförmige Ausschnitte haben, so dass die Stöpsel z z zwischen sie fest eingeklemmt werden können. Jede Messingplatte ist nun mit der folgenden durch eine Drahtrolle verbunden, die im Innern des Kastens liegt, und zwar haben die Draht-

rollen alle bestimmte, gemessene Widerstände. In der Figur sind a und b mit einer Drahtrolle von 1 Siemens Widerstand, b mit c und c mit d je mit einer Drahtrolle von 2 Siemens, d mit der nächsten Messingplatte durch 5 Siemens verbunden, die beiden letzten Platten endlich mit einem Draht von 50 Siemens Widerstand.

Der Strom fliesst von einem Element durch einen Draht, der in die Klemmschraube k eingeklemmt ist, in das Messingstück a. Sind nun alle Stöpsel zwischen den Messingplatten eingeklemmt, so geht der Strom nur durch die Messingplatten hindurch, weil der Widerstand der gesammten Drähte im Kasten ein enorm grosser ist gegen den der dicken Messingplatten. Ist dagegen ein Stöpsel herausgenommen, so fliesst der Strom durch den Verbindungsdraht zwischen den beiden Platten. Durch die Herausnahme des Stöpsels ist also der bestimmte Widerstand eingeschaltet. So kann man durch Herausnehmen eines oder mehrerer oder aller Stöpsel Widerstände von 1 Siemens bis zu 100 Siemens $(1 + 2 + 2 + 5 + 10 + 10 + 20 + 50)$ einschalten.

Dieser Widerstandskasten ist für den Gebrauch sehr bequem. Er unterscheidet sich von den vorher erwähnten Rheostaten dadurch, dass man nicht stetig von einem Widerstand zum anderen übergehen kann, sondern immer nur um 1 Siemens fortschreiten kann. Siemens construirt solche Rheostaten auch mit bis zu 1000 Siemens Widerstand. Auch bringt er auf ihnen noch Platindrähte mit einem Schlitten an nach Art des Poggendorff'schen Rheochords, um auch Bruchtheile von 1 Siemens Widerstand einschalten und so eine stetige Aenderung des Widerstandes hervorbringen zu können.

Mit Hülfe der Rheostaten ist es nun leicht, den Widerstand eines jeden beliebigen Leiters in Siemens-Einheiten auszudrücken. Man hat dazu verschiedene Methoden. Die am nächsten liegende ist die, dass man in den Stromkreis eines galvanischen Elements ein Galvanoskop und den Draht, dessen Widerstand man bestimmen will, einschaltet. Dann setzt sich der ganze Widerstand des Stromkreises zusammen aus:

1) dem Widerstand des zu untersuchenden Drahtes;
2) dem Widerstand des Elements, des Galvanoskops, der Verbindungsdrähte, den wir zusammen als übrigen Widerstand bezeichnen wollen.

Man bekommt nun an dem Galvanoskop eine bestimmte Ablenkung der Nadel, welche eine bestimmte Stromintensität anzeigt, nach dem Ohm'schen Gesetz

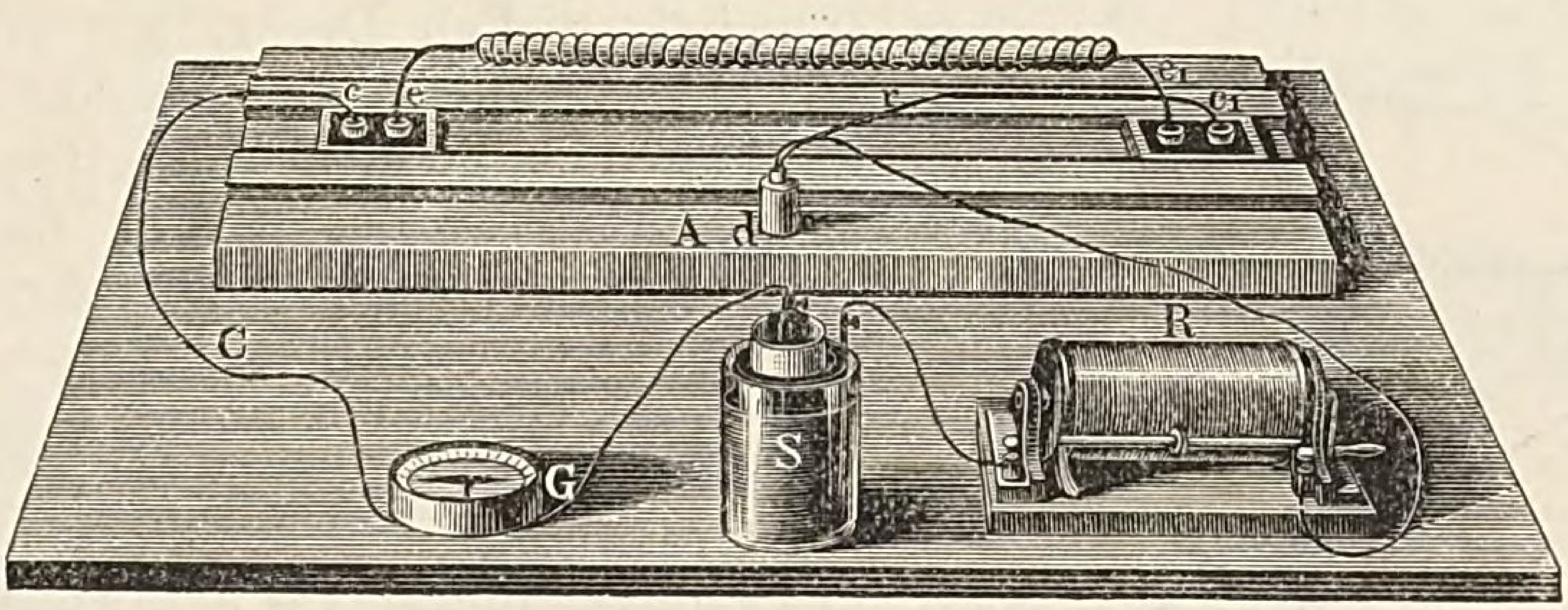
$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand des Drahtes} + \text{übriger Widerstand}}.$$

Nun nehmen wir unseren zu untersuchenden Draht heraus und schalten dafür einen Rheostaten ein. Von diesem, z. B. dem in Fig. 59 gezeichneten, bringen wir durch Drehen der Kurbel so viel Draht in den Stromkreis, bis die Nadel des Galvanoskops grade einen genau so grossen Ausschlag zeigt wie früher. Dann haben wir dieselbe Stromstärke wie früher, und es ist jetzt

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Rheostatenwiderstand} + \text{übriger Widerstand}}.$$

Da die Stromintensität, die elektromotorische Kraft, der übrige Widerstand in beiden Fällen dieselben sind, so muss also der Widerstand des zu untersuchenden Drahtes gleich dem Widerstand des eingeschalteten Stückes des Rheostatendrahtes sein. Dessen Grösse kennen wir aber in Siemens-Einheiten, folglich kennen wir auch die Grösse des zu untersuchenden Drahtes in Siemens-Einheiten. Man nennt diese Methode, den Widerstand zu bestimmen, die Substitutionsmethode. Zur bequemen Ausführung dieser Messung dient die Anordnung, wie sie in Fig. 63 gezeichnet ist. Auf einem Brett befinden sich die 4 Queck-

Fig. 63.



silbernäpfchen c e und c_1 e_1, von denen c mit e und ebenso c_1 mit e_1 leitend verbunden sind. Der zu bestimmende Widerstand n wird zwischen e und e_1 gebracht. Bei S befindet sich das Element, bei G das Galvanometer, bei R ein Rheostat. Von diesem aus wird ein Draht zu dem Quecksilbernäpfchen d geführt, von dem andererseits der Draht r nach c_1 führt. Auf diese Weise ist im Stromkreis ausser dem Widerstand n noch der Widerstand von den Verbindungsdrähten und ein beliebig grosser Widerstand von dem Rheostaten, der dazu dient, den Ausschlag des Galvanometers auf eine passende Grösse zu bringen. Nun wird blos der Draht r von c_1 nach c gelegt. Dadurch ist der Widerstand n ausgeschaltet, während der ganze übrige Widerstand im Stromkreis derselbe geblieben ist. Man erhält nun einen anderen grösseren Ausschlag des Galvanometers und muss jetzt so viel Rheostatenwiderstand einschalten, bis der Ausschlag derselbe ist, wie im ersten Falle. Dann ist dieser eingeschaltete Rheostatenwiderstand gleich dem gesuchten Widerstand n.

Diese Methode, den Widerstand zu bestimmen, leidet noch an verschiedenen Mängeln. Es sind zwei Operationen dazu nöthig, und es ist nicht sicher, dass die elektromotorische Kraft und der innere Widerstand der Elemente sich nicht vielleicht etwas geändert haben. Eine viel bessere Methode, um Widerstände zu bestimmen, ist die folgende, welche auf der Anwendung der Stromverzweigung beruht.

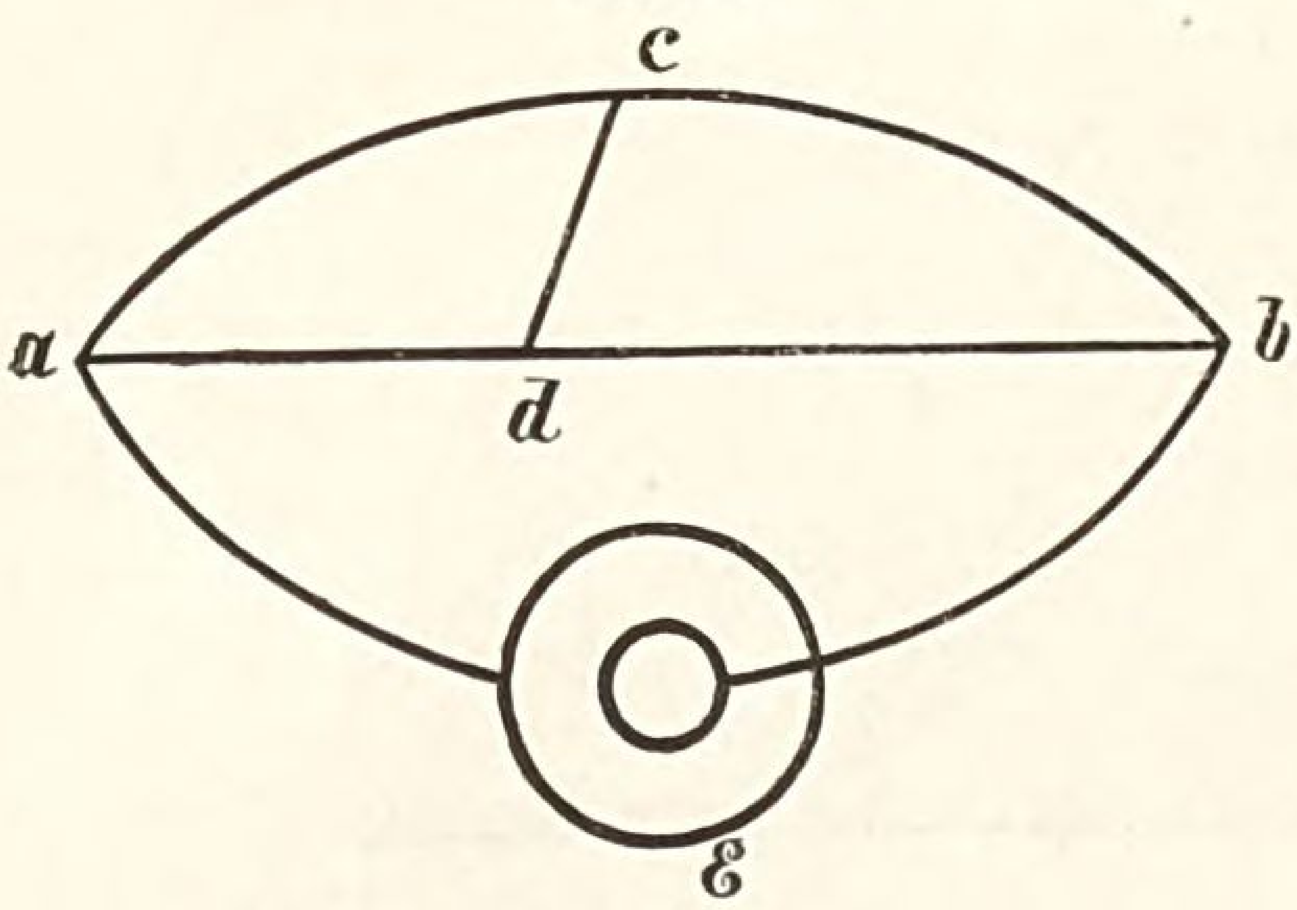
Wir haben oben angeführt, dass, wenn wir von einem Element aus den Strom durch eine Leitung mit zwei Zweigen schicken, die wiederum mit einander durch einen Draht, durch eine Brücke, verbunden sind, dass dann unter gewissen Umständen der Strom in der Brücke gleich Null wird. Diese Umstände treten dann ein, wenn in umstehender Fig. 64

$$\frac{\text{Widerstand von a c}}{\text{Widerstand von c b}} = \frac{\text{Widerstand von a d}}{\text{Widerstand von d b}}$$

ist. Dann ist der Strom in dem Brückendraht immer gleich Null, wie gross auch der Widerstand des Brückendrahtes c d sein mag. Man kann deshalb in die Brücke auch ein Galvanoskop einschalten und durch dieses zugleich erkennen, wenn der Strom in der Brücke verschwindet.

Will man nun den Widerstand eines Drahtes bestimmen, so bringt man ihn z. B. an die Stelle des Drahtes a c. Als Drähte a d und b d nimmt man einen gleichmässig dicken Draht, auf dem ein Contaktschlitten verschiebbar ist, wie bei dem Poggendorff'schen Rheochord in Fig. 61. Der Draht liegt auf einer Skala, so dass man die Länge von a d und d b ablesen kann. Endlich als Draht c b nimmt man einen bekannten Widerstand, z. B. 10 Siemens. Und nun verschiebt man den Contaktschlitten auf dem Draht a d b so lange, bis das Galvanoskop in c d nicht mehr abgelenkt ist. Dann geht kein Strom durch c d, und nun wissen wir, dass

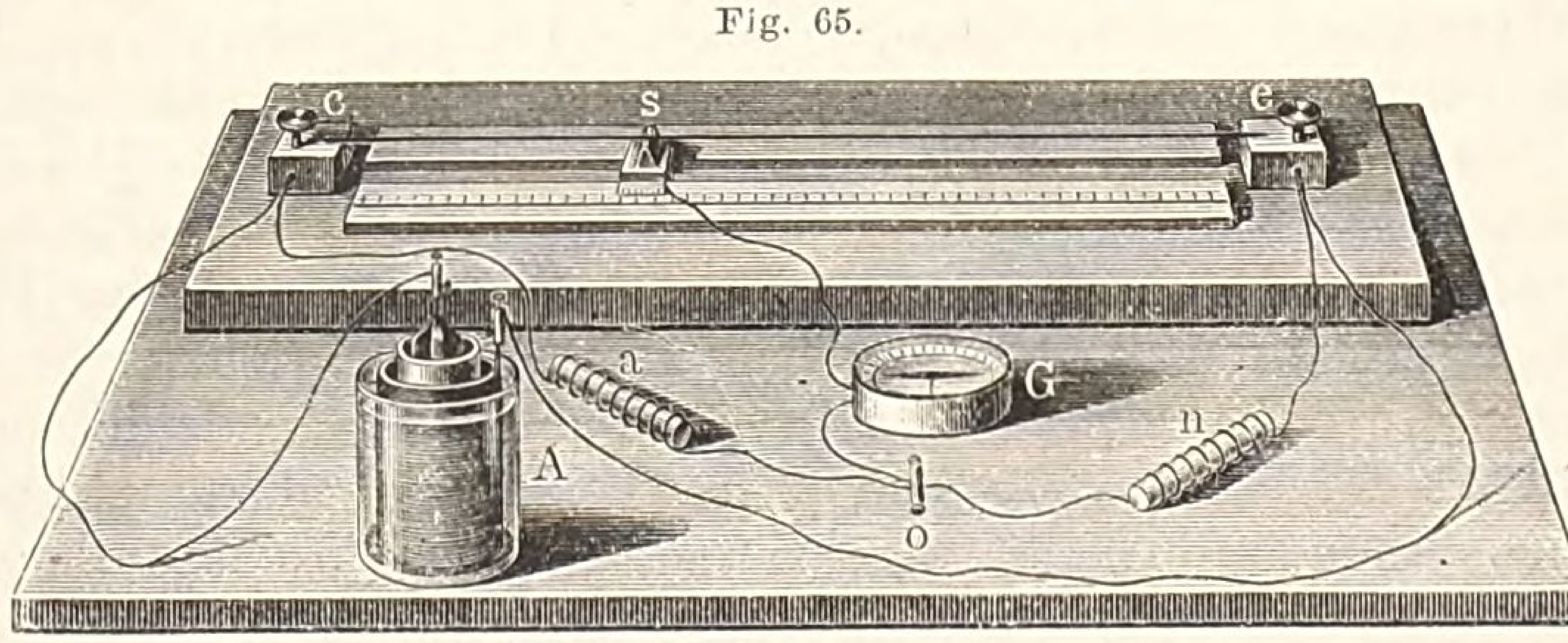
Fig. 64.



$$\frac{\text{Widerstand des zu untersuchenden Drahtes}}{\text{10 Siemens}} = \frac{\text{a d}}{\text{d b}},$$

also der Widerstand des zu untersuchenden Drahtes = 10 Siemens × dem Verhältniss der Längen von a d und b d ist. Folglich haben wir den Widerstand des zu untersuchenden Drahtes in Siemens-Einheiten bestimmt. Die Verbindungen bei dieser Widerstandsmessung gehen deutlich aus Fig. 65 hervor. Darin ist n der zu untersuchende, a ein

Fig. 65.



bekannter Widerstand. Zwischen c und e ist ein Platindraht über einer Skala ausgespannt. S ist der verschiebbare Contakt, A das Element und G das Galvanoskop.

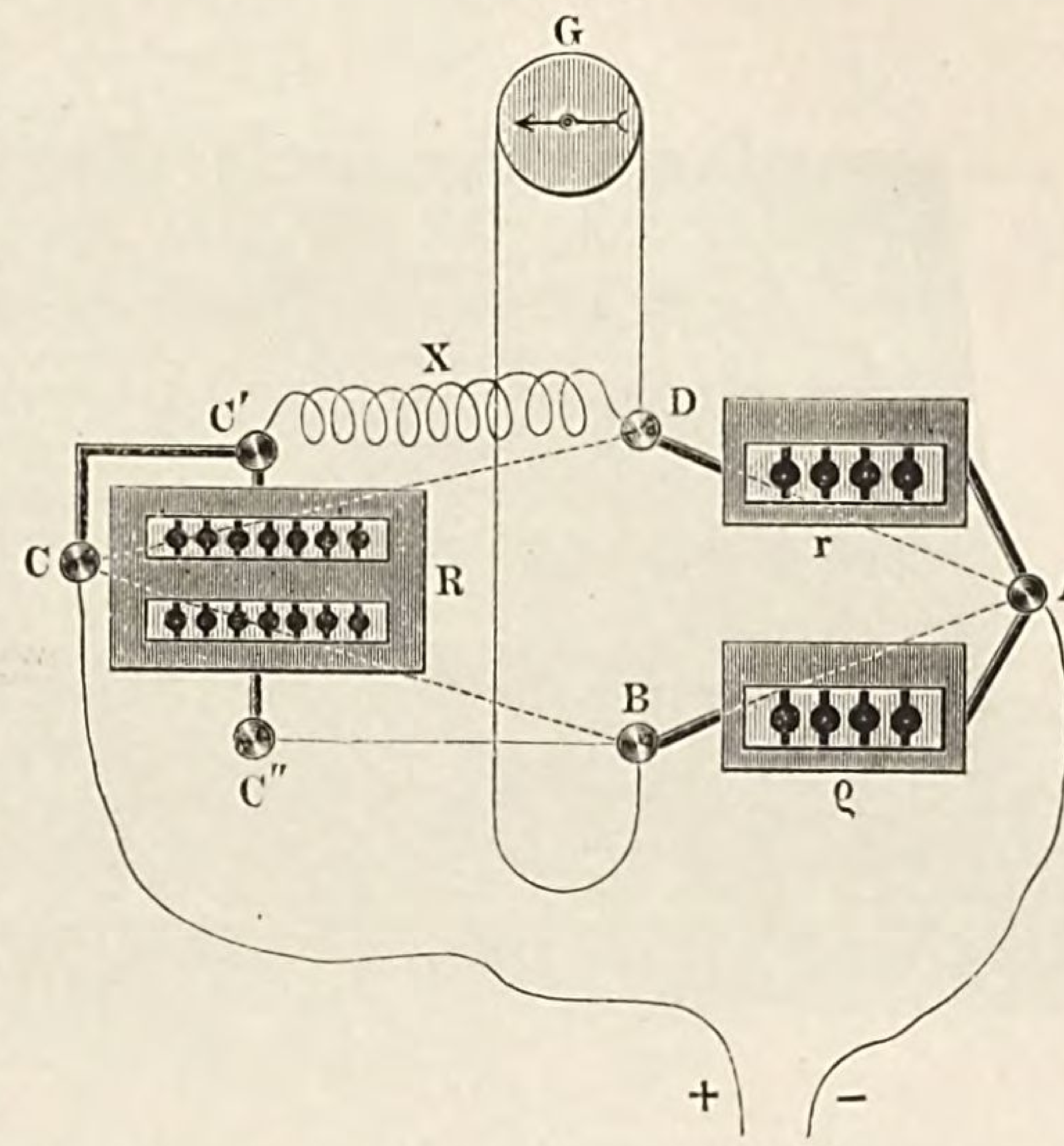
Diese Methode nennt man, wie schon erwähnt, die Methode der Wheatstone'schen Brücke.

Die nöthigen Verbindungsdrähte von a und n mit einander und mit den Punkten c und e müssen entweder so geringen Widerstand

haben, dass man ihn vernachlässigen kann, oder ihr Widerstand muss bekannt sein. Auf die übrigen Verbindungsdrähte kommt es nicht an.

Man verwendet die Wheatstone'sche Combination noch auf andere Art zum Messen von Widerständen. Man macht z. B. in Fig. 64 das Verhältniss der Widerstände b c und b d bekannt, etwa gleich 1, schaltet den zu bestimmenden Draht als a c ein und bringt in a d einen Rheostaten. Von diesem muss man dann so viel Widerstand einschalten, bis das Galvanometer in der Brücke keinen Strom anzeigt. Dann ist der Rheostatenwiderstand gleich dem zu bestimmenden. Diese Anordnung ist schematisch in Fig. 66 gezeichnet. Vom Element geht der Strom nach den beiden Punkten C und A und theilt sich hier, so dass er einmal durch den zu untersuchenden Widerstand x und einen kleinen Widerstandskasten r, andererseits durch einen grossen Rheostaten R und einen anderen kleinen Widerstandskasten ρ geht. Zwischen B und D befindet sich die Brücke mit dem Galvanoskop G. Man schaltet z. B. bei r und ρ je 1 Siemens aus, so dass das Verhältniss von $\frac{AD}{AB}$ gleich 1 ist, und zieht aus R dann so lange Stöpsel heraus, bis in G kein Strom sich zeigt. Macht man das Verhältniss von $\frac{AD}{AB}$ nicht gleich 1, sondern z. B. gleich $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ oder gleich 10, 100, so ist auch der zu bestimmende Widerstand gleich $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ oder gleich 10, 100mal dem ausgeschalteten Rheostatenwiderstand.

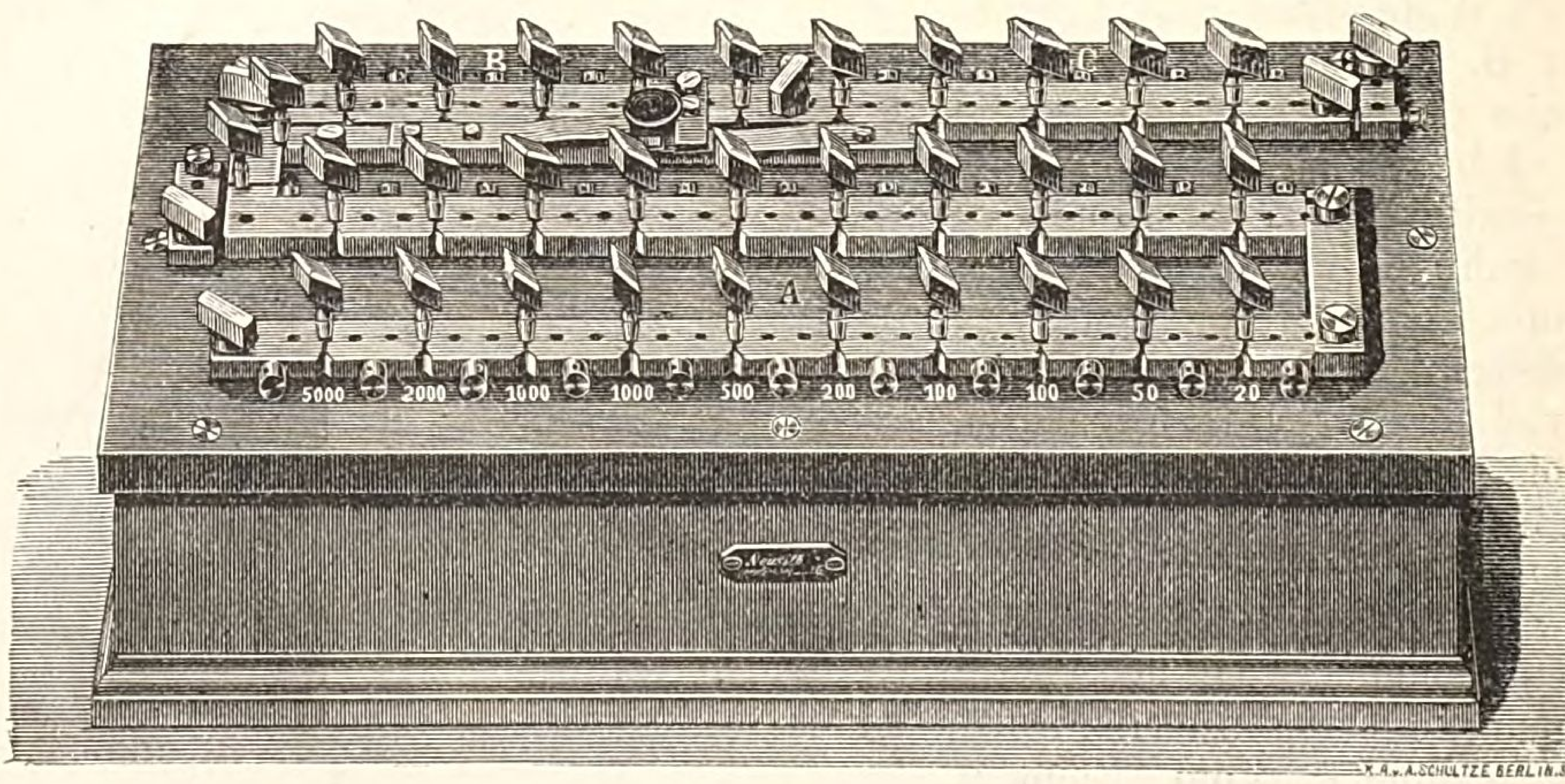
Fig. 66.



Da bei Widerstandsmessungen jetzt fast durchgängig die Methode der Wheatstone'schen Brücke benutzt wird, so richtet Siemens die neueren Widerstandskästen gleich so ein, dass sie für diesen Zweck leicht anzuwenden sind. Einen solchen Universalwiderstandskasten zeigt Fig. 67. Es sind in diesem die drei Widerstandskästen der vorigen Figur vereinigt. Der mit A bezeichnete Theil enthält Widerstände von 0,1 bis 5000 Siemens und entspricht dem Kasten R in obiger Figur. Der mit B und der mit C bezeichnete Theil sind Widerstandskästen mit den Widerständen 1, 10, 100, 1000 Siemens und entsprechen den beiden Kästen r und ρ in der obigen Figur. Es wird nun der zu

bestimmende Widerstand x, wie Fig. 68 zeigt, zwischen 2 und 3, das Element E zwischen 3 und 4, das Galvanoskop zwischen 1 und 2 eingeschaltet, um die Wheatstone'sche Drahtcombination herzustellen.

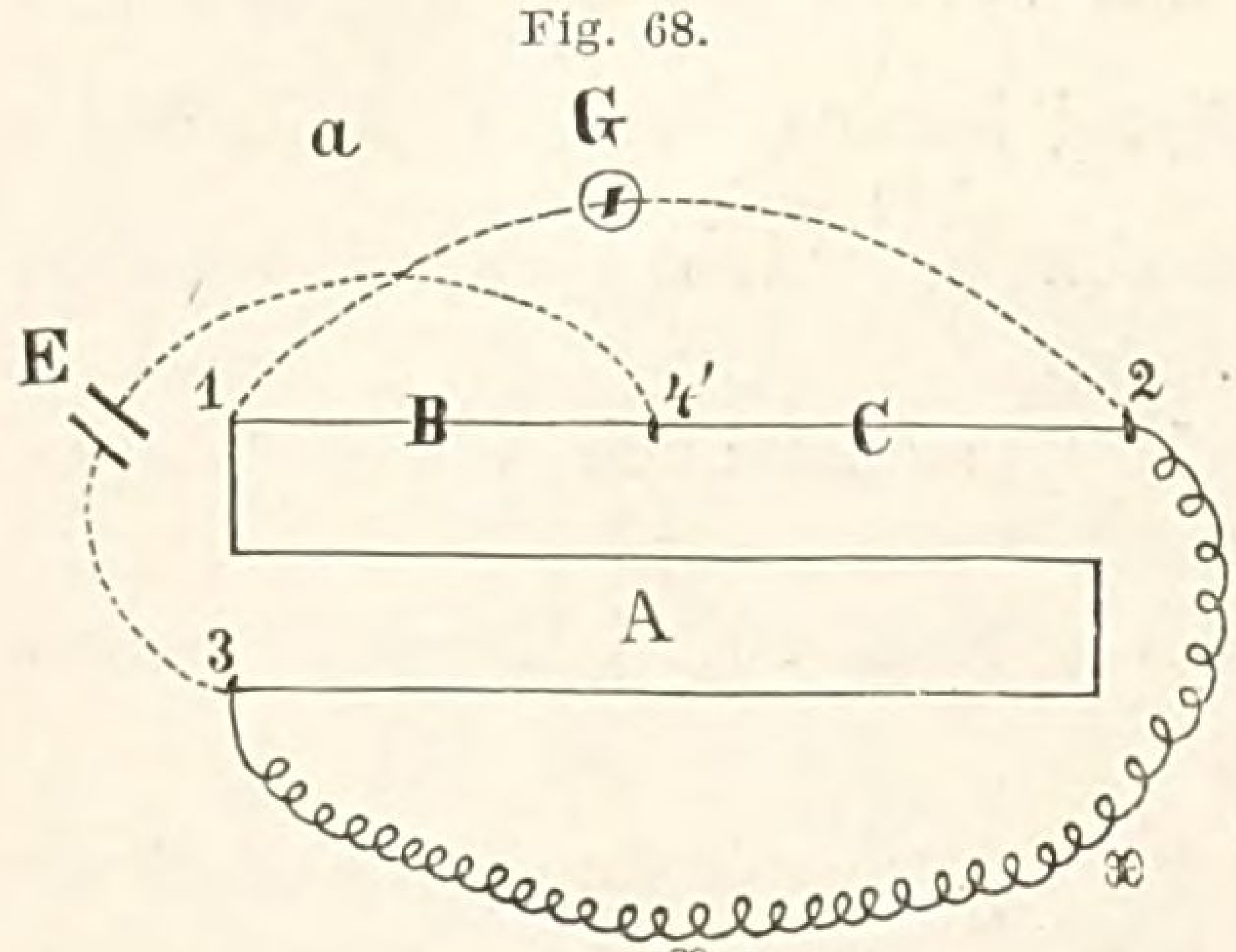
Fig. 67.



Direkt für die Combination der Wheatstone'schen Brücke ist endlich noch das Siemens'sche Universalgalvanometer eingerichtet, von dem in Fig. 69 noch einmal die äussere Ansicht und in Fig. 70 der Grundschnitt abgebildet ist und in das wir jetzt genaue Einsicht nehmen wollen.

Das Galvanoskop sitzt nämlich auf einer Schieferplatte, auf welcher sich vier Messingplättchen befinden, die mit den Enden dreier Widerstandsrollen von 10, 100, 1000 Siemens verbunden sind und die in bekannter Weise durch Stöpsel ein- und ausgeschaltet werden können. In dem Rand der Schieferplatte befindet sich eine Nuth und in diese ist ein Neusilberdraht von gleichförmigem Widerstand eingelegt, der als Messdraht bei der Wheatstone'schen Brücke dient. Auf der Schieferplatte befindet sich eine Theilung und zwar geht sie von der Mitte der hinteren Seite der Schieferplatte an nach beiden Seiten von 0 bis 150. Die beiden Seiten sind unterschieden durch die Buchstaben A und B.

Fig. 68.



Unterhalb der Schieferplatte befinden sich fünf Klemmschrauben I, II, III, IV, V, von denen III und IV durch einen Stöpsel mit einander verbunden werden können, während V mit II durch einen Druck auf den Knopf einer Feder momentan in Verbindung gesetzt werden kann. (In Fig. 70 ist V weggelassen.)

Fig. 69.

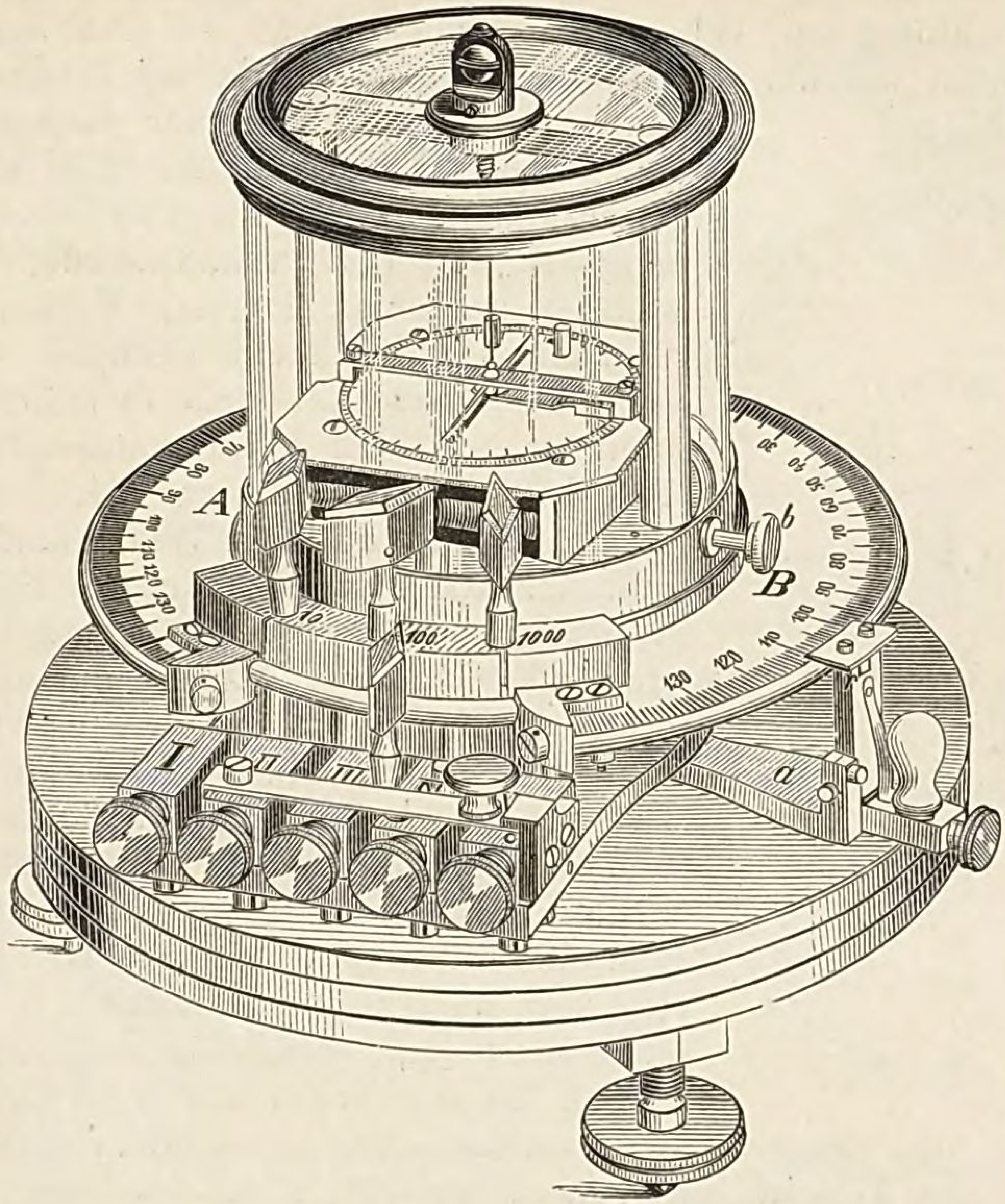
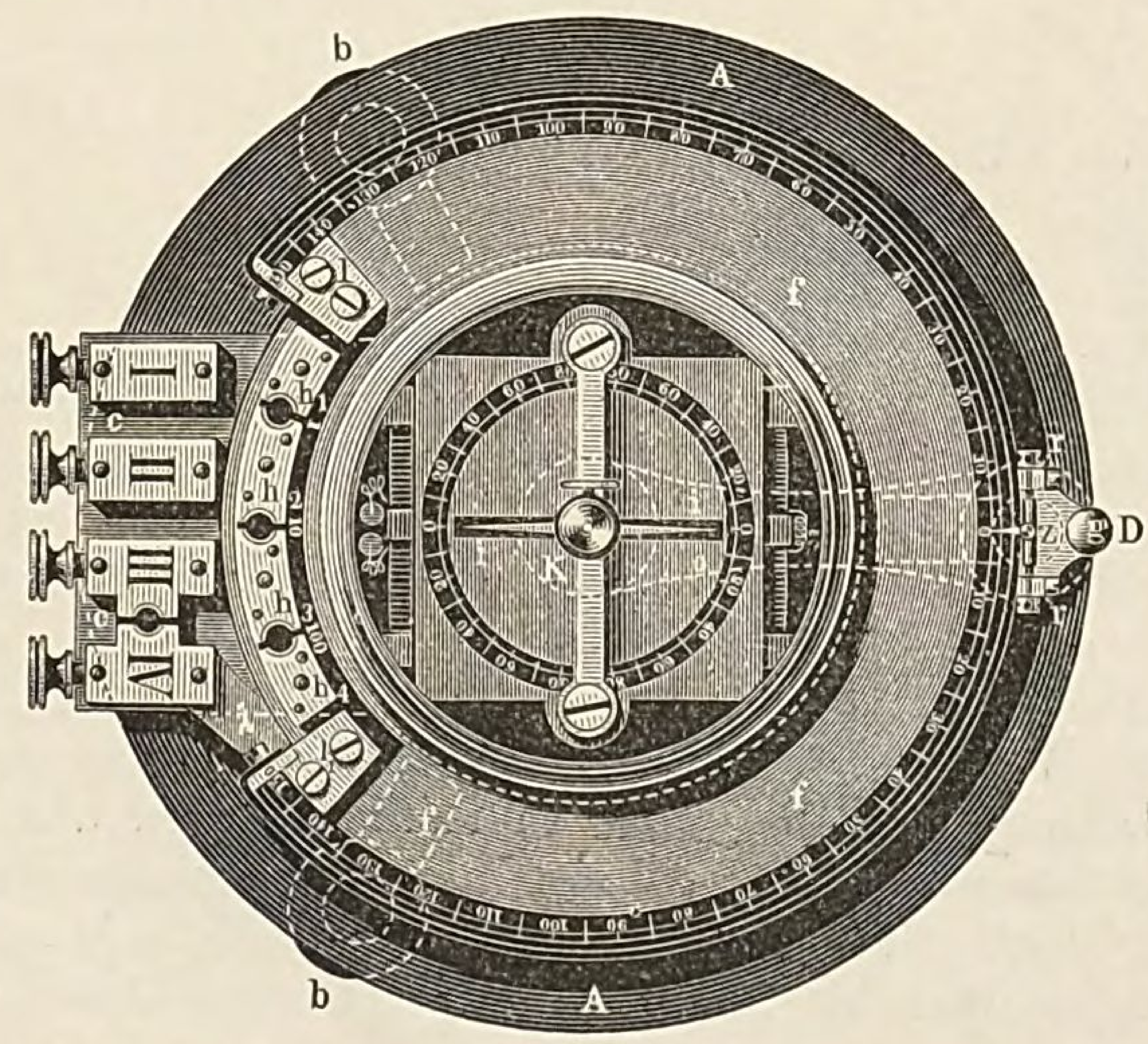


Fig. 70.



Endlich sitzt auf der Achse des Apparates drehbar der Arm a (Fig. 69). Dieser trägt einen metallischen Nonius, der auf dem Messdraht verschoben werden kann und zugleich zur Ablesung dient.

Die Verbindung der einzelnen Theile des Apparates und zugleich seine Einrichtung zur Wheatstone'schen Brücke ist nun aus Fig. 71 zu ersehen, in welcher die Metallschiene V, die ja mit II direkt durch einen Druck auf die Feder verbunden werden kann, fortgelassen ist. Die beiden Pole des Elements k z werden zwischen I und II eingeschaltet, der zu untersuchende Widerstand x zwischen II (resp. V) und IV (mit welchem III durch einen Stöpsel verbunden ist). Der Messdraht steht in ständiger Verbindung mit den Widerstandsschienen 10, 100, 1000 und der Klemme III, das Galvanoskop ebenfalls mit den Widerstandsschienen und der Klemme IV. In das Schema der Wheatstone'schen Brücke gebracht, reihen sich die einzelnen Zahlen und Buchstaben dieser Figur nun so ein, wie es Fig. 72 angiebt. Dies ist aber die Anordnung der Brücke, welche wir auf S. 64 beschrieben und begründet haben. Man schaltet nun beim Gebrauch des Instrumentes denjenigen von den drei Widerständen 10, 100, 1000 ein, der dem zu bestimmenden x am nächsten liegt und verschiebt den Zeiger z so lange, bis die Nadel auf Null bleibt. Ist α die Angabe des Zeigers, dann verhält sich, je nachdem diese Angabe auf der A- oder B-Seite des Apparates steht, x zu dem eingeschalteten Widerstand S, wie

Fig. 71.

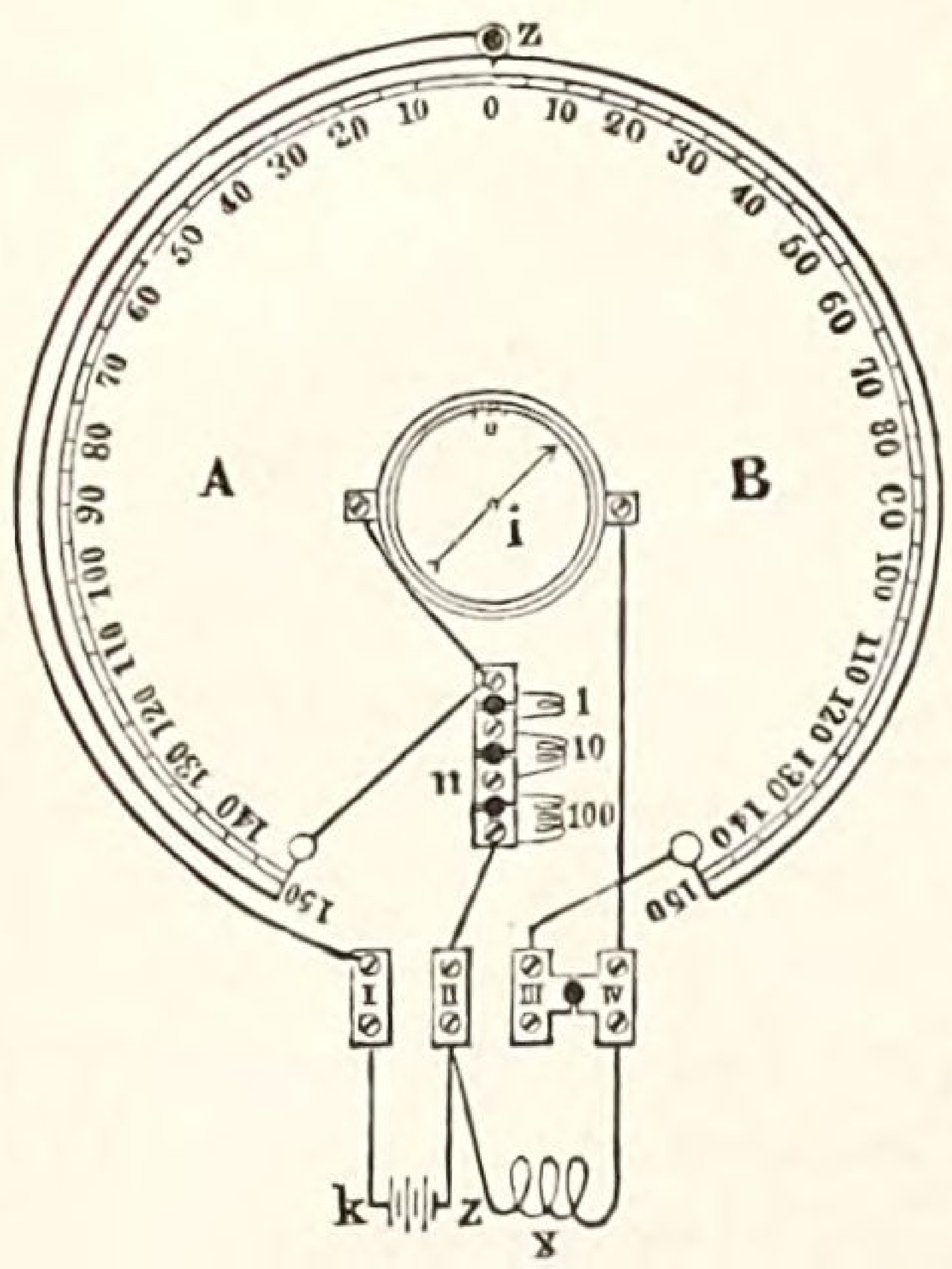
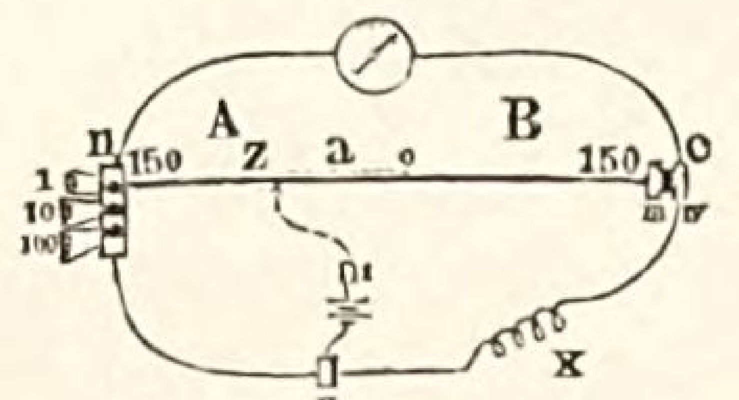


Fig. 72.



$$\frac{150 + \alpha}{150 - \alpha}$$

auf der A-Seite, oder wie

$$\frac{150 - \alpha}{150 + \alpha}$$

auf der B-Seite.

Man hat daher den zu bestimmenden Widerstand sofort in Siemens-Einheiten ausgedrückt.

In Bezug auf die Schnelligkeit und Bequemlichkeit der Widerstandsbestimmung lässt das Universalgalvanometer nichts zu wünschen übrig.

Auf diese Weise lässt sich der Widerstand jedes Leiters bestimmen. Ohne Weiteres anwendbar sind diese Bestimmungsweisen bei metallischen Leitern und bei anderen festen Leitern der Elektricität. Bei der Bestimmung des Widerstandes von zusammengesetzten Flüssigkeiten kommt noch eine Complikation hinzu, die wir später kennen lernen werden, so dass bei ihnen die Methoden noch etwas abgeändert werden müssen.

Ein specieller Fall von flüssigen Widerständen ist der innere Widerstand der galvanischen Elemente selbst. Es ist eine sehr wichtige und sehr häufig nothwendige Aufgabe, diesen inneren Wider-

stand zu bestimmen, und man hat daher verschiedene Methoden dafür ersonnen. Ist die elektromotorische Kraft und der innere Widerstand eines Elementes constant, ändert er sich nicht mit der Zeit und dem Gebrauch des Elements, dann kann man durch zwei Versuche den inneren Widerstand finden. Man schliesst nämlich das Element einmal durch einen bekannten Widerstand und bestimmt den Ausschlag eines miteingeschalteten Galvanometers und dann schliesst man dasselbe Element mit einem anderen äusseren Widerstand und bestimmt wieder die Ablenkung des Galvanometers. Aus den Ablenkungen des Galvanometers, etwa einer Tangentenbussole, hat man ja sofort die Stromstärke.

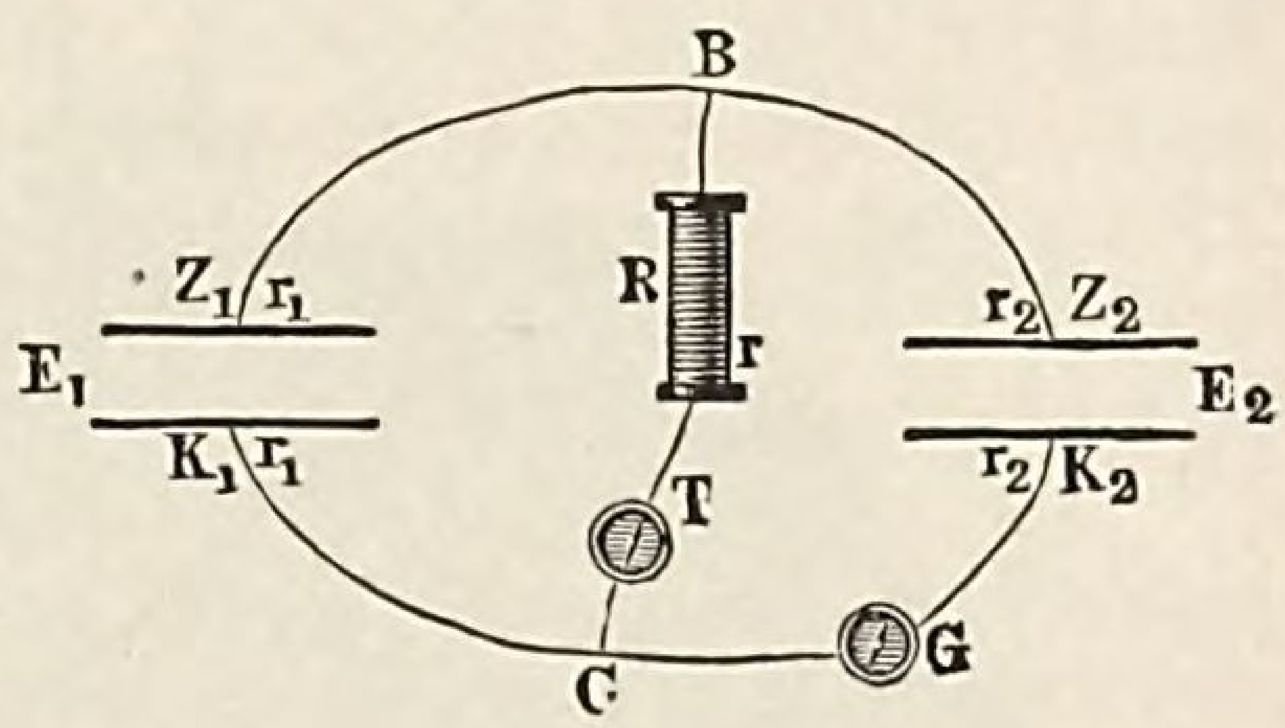
Da die elektromotorische Kraft dieselbe geblieben ist, so hat man dadurch eine Beziehung zwischen den beiden Gesammtwiderständen und den zugehörigen Stromstärken. Da die Gesammtwiderstände sich aus dem bekannten äusseren Widerstand und dem gesuchten inneren Widerstand zusammensetzen, so kann man daraus den inneren Widerstand durch Rechnung finden. Bezeichnen wir nämlich die beiden der Reihe nach eingeschalteten Widerstände mit Widerstand I und Widerstand II und die zugehörigen beobachteten Intensitäten mit Intensität I und Intensität II, so ergiebt sich durch Combination

$$\text{innerer Widerstand} = \frac{\text{Widerstand II} \times \text{Intensität II} - \text{Widerstand I} \times \text{Intensität I}}{\text{Intensität I} - \text{Intensität II}}.$$

Diese Methode ist aber erstens nicht bequem, weil sie ein genaues Galvanometer verlangt, und zweitens nur dann anzuwenden, wenn die elektromotorische Kraft und der Widerstand des Elementes sich nicht ändern.

Hat man eine Anzahl gleicher Elemente, von denen man annehmen kann, dass ihr Widerstand auch gleich ist, so kann man ihren Widerstand durch eine Messung bestimmen, die auf der S. 64 u. 65 entwickelten Stromverzweigung beruht. In Fig. 73 ist diese Combination noch einmal gezeichnet. Man schaltet als Säule $Z_2 K_2$ eine Anzahl von den Elementen, z. B. 2, und als Säule $Z_1 K_1$ eine grössere Anzahl, z. B. 5, ein. Dann ist das Verhältniss der elektromotorischen Kräfte $\frac{5}{2}$.

Fig. 73.



In die Brücke BC bringt man nun einen Rheostaten R und in den Zweig $B E_2 C$ ein Galvanoskop G. Schaltet man nun aus R so lange Widerstand aus, bis in G kein Strom mehr ist, dann ist nach den oben angeführten Resultaten das bekannte Verhältniss der elektromotorischen Kraft gleich dem Verhältniss eines bekannten Widerstands zu dem gesuchten; dieser letztere ist also daraus zu bestimmen.

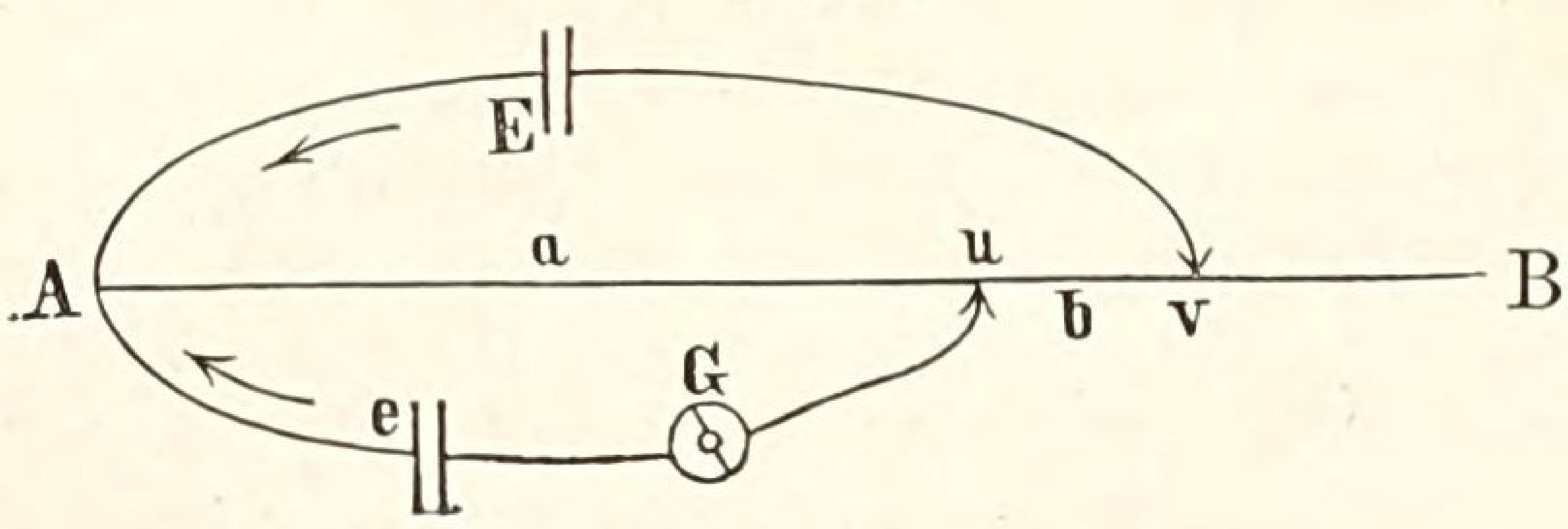
Auch diese Methode kann nur ungenaue Resultate geben, da sie viele Voraussetzungen macht, die nicht leicht zu erfüllen sind.

Wir beschreiben deshalb noch eine andere Methode, die immer, auch bei inconstanten Elementen, anwendbar ist und die recht be-

queme und rasche Bestimmungen gestattet. Sie beruht auf derselben Stromverzweigung, wie die oben beschriebene.

Wir wollen diese auf den Fall anwenden, der in Fig. 74 gezeichnet ist. Darin ist E das Element, dessen inneren Widerstand wir bestimmen wollen. e ist ein Hülfselement von kleinerer elektromotorischer Kraft als E. AB ist ein ausgespannter gleichförmiger Platindraht, dessen Widerstand in Siemenseinheiten bekannt ist. G ist ein Galvanoskop. Auf dem Platindraht lassen sich zwei Contakte u und v verschieben. Die beiden Elemente müssen gegen einander geschaltet sein, also gleichnamige Pole gegen A hin richten. Dann haben wir genau die Einrichtung, wie wir sie auf S. 65 angenommen hatten.

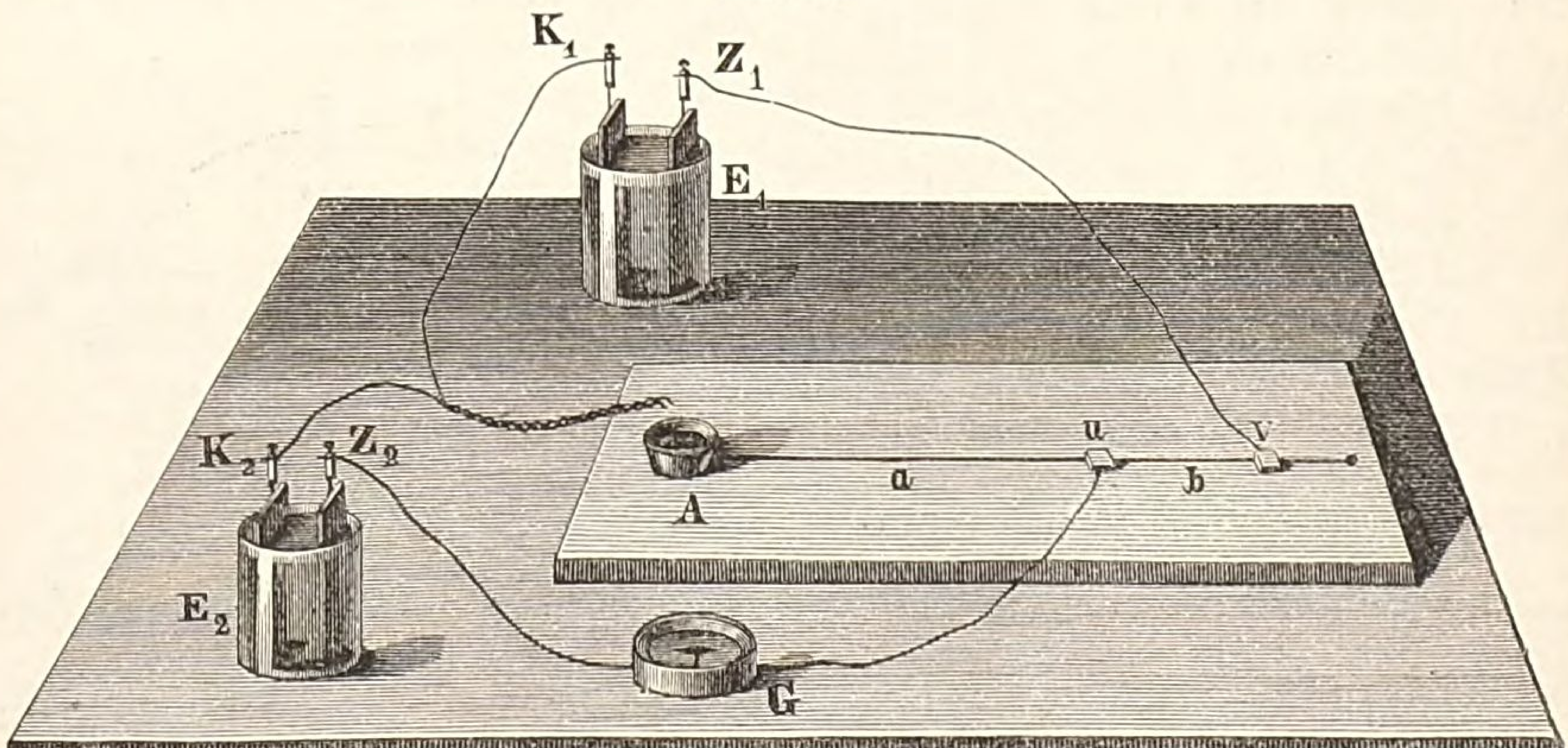
Fig. 74.



Man stellt nun zuerst den Contakt u beliebig fest und verschiebt v so lange, bis das Galvanoskop G keinen Strom anzeigt. Die Widerstände des Platindrahtes zwischen A und u, resp. u und v seien a und b. Dann giebt man u eine andere feste Lage und verschiebt v wieder, bis in G der Strom o ist. Die Widerstände der beiden Stücke seien jetzt a′ und b′. Aus diesen vier Grössen a, b, a′, b′ lässt sich dann der Widerstand von E (mit dem der Verbindungsdrähte E A und E v) berechnen.

Bei der wirklichen Ausführung dieser Messungen muss man den Kreis der beiden Elemente immer nur momentan schliessen. Man

Fig. 75.



taucht deshalb die beiden mit einander verbundenen Drähte von e und E momentan in ein Quecksilbernäpfchen bei A, wie es Fig. 75 zeigt, welche die Anordnung dieser Messungen angiebt.

Nach einer von diesen Methoden können wir also den inneren Widerstand eines jeden Elements bestimmen. Natürlich hängt dieser

Widerstand ab von der Grösse des Elements, von der Beschaffenheit der Thonzellen und so weiter. Man kann deshalb für die gewöhnlich benutzten Elemente auch nur ungefähre Angaben über den inneren Widerstand machen. Bei sonst gleicher Grösse ist der innere Widerstand eines Bunsen'schen Elements ungefähr nur der sechste Theil von dem eines Daniells; er beträgt bei einem Element von der Grösse, wie sie gewöhnlich gebraucht wird (22 cm Höhe), nur etwa 0,05 bis 0,1 Siemens, während z. B. ein Meidinger-Element je nach der Grösse 4—9 Siemens und ein Leclanché-Element ungefähr 6 Siemens Widerstand hat.

Die dritte Grösse, welche bei jedem Strom in Betracht kommt, ist die elektromotorische Kraft. Um diese für verschiedene Elemente vergleichen zu können, muss man eine Einheit festsetzen. Man nimmt in Deutschland bisher gewöhnlich die elektromotorische Kraft eines Daniells als Einheit und bezieht auf diese die Kräfte aller anderen Elemente. So ist z. B. die elektromotorische Kraft eines Bunsen'schen Elements gleich 1,7 Daniell ungefähr, die eines Leclanché-Elements gleich 1,5 Daniell. Eine Kette von zehn hinter einander verbundenen Bunsen'schen Elementen hat also eine elektromotorische Kraft von 17 Daniells, während eine Kette von zehn neben einander verbundenen Bunsen'schen Elementen nur so stark ist, wie 1,7 Daniell, wie wir früher gesehen haben. Dass man den Daniell als Einheit nimmt, ist nur ein willkürliches Uebereinkommen. Zur Messung der elektromotorischen Kraft von Elementen hat man verschiedene Methoden. Da die elektromotorische Kraft eines Elements gleich der Potentialdifferenz seiner Pole im ungeschlossenen Zustand ist, so kann man sie dadurch bestimmen, dass man die Potentialdifferenz z. B. an dem Quadrantelektrometer misst. Bestimmt man erst, welchen Ausschlag ein Daniell am Quadrantelektrometer giebt, und dann den Ausschlag des zu bestimmenden Elements, so ist das Verhältniss dieser Ausschläge gleich dem Verhältniss der elektromotorischen Kräfte. Man hat also die gesuchte elektromotorische Kraft in Daniells ausgedrückt. Man bestimmt aber elektromotorische Kräfte von Elementen meistens im geschlossenen Zustand, und von den dazu angewendeten Methoden wollen wir einige anführen.

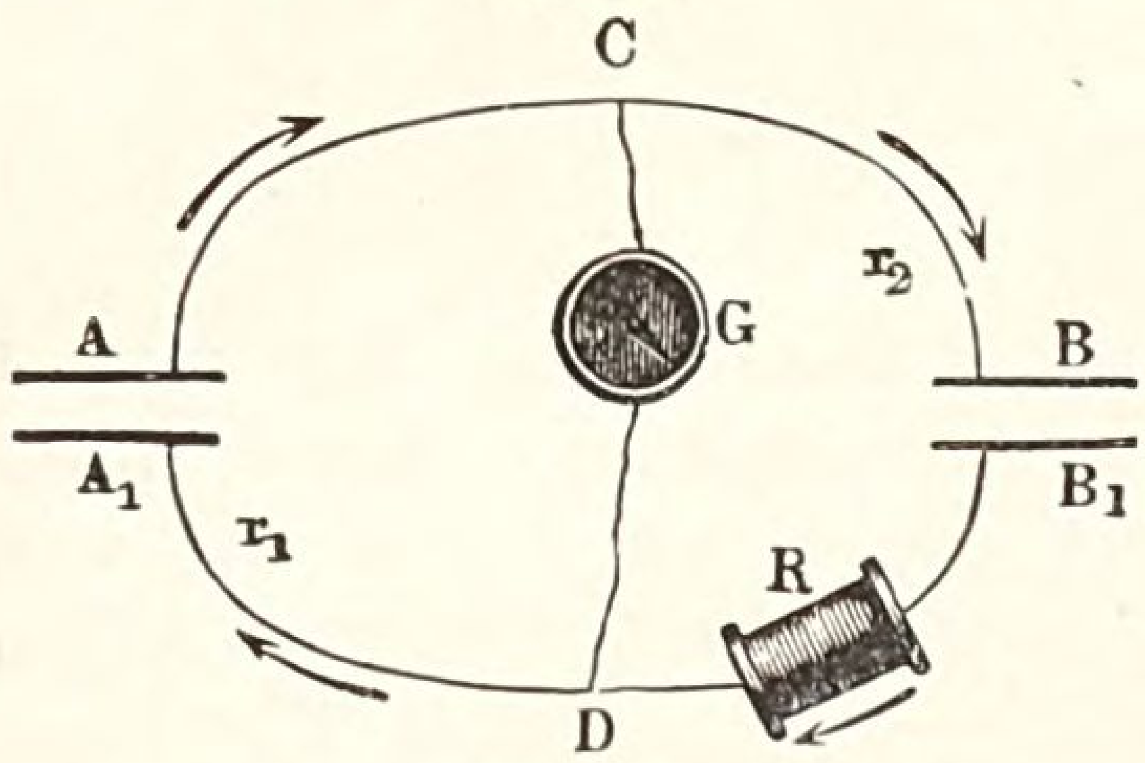
a) Man bilde einen Stromkreis aus dem Normalelement, 1 Daniell, einem sehr grossen bekannten Widerstande und einem empfindlichen Galvanoskop. Man erhält einen bestimmten Ausschlag. Alsdann ersetze man das Normalelement durch das zu messende und schalte so viel Rheostatenwiderstand ein oder aus, bis man wieder denselben Ausschlag am Galvanoskop erhält. Es verhalten sich dann die elektromotorischen Kräfte umgekehrt wie die Widerstände. Man nimmt hierbei grossen Drahtwiderstand im Stromkreis, um die inneren Widerstände der Elemente und den Widerstand der Zuleitungsdrähte vernachlässigen zu können. Kennt man diese aber direkt schon, so braucht man keinen grossen Widerstand und also dann auch kein so empfindliches Galvanometer.

b) Statt beide Male dieselbe Stromstärke durch Veränderung des Widerstandes hervorzubringen, kann man auch denselben (grossen)

Widerstand beibehalten und die entsprechende Stromstärke an einem empfindlichen Galvanometer bestimmen. Man braucht dann den eingeschalteten Widerstand nicht zu kennen. In diesem Falle verhalten sich die elektromotorischen Kräfte wie die abgelesenen Stromstärken.

c) Andere Methoden beruhen auf der Stromverzweigung. Man schaltet z. B. (Fig. 76) das zu untersuchende und ein Normalelement hinter einander, bringt in den Zweig des einen von ihnen einen Rheostaten R und in die Brücke CD ein Galvanometer. Dadurch ist die auf S. 66 beschriebene Stromverzweigung hergestellt. Man kann nun aus R so viel Widerstand ausschalten, bis das Galvanometer in der Brücke keinen Strom anzeigt, dann verhalten sich die elektromotorischen Kräfte der beiden Elemente umgekehrt wie die Widerstände der Zweige, in denen sie enthalten sind. Wenn man also nur die inneren Widerstände der Elemente und den sonstigen Drahtwiderstand kennt, so kann man dadurch die elektromotorischen Kräfte mit einander vergleichen.

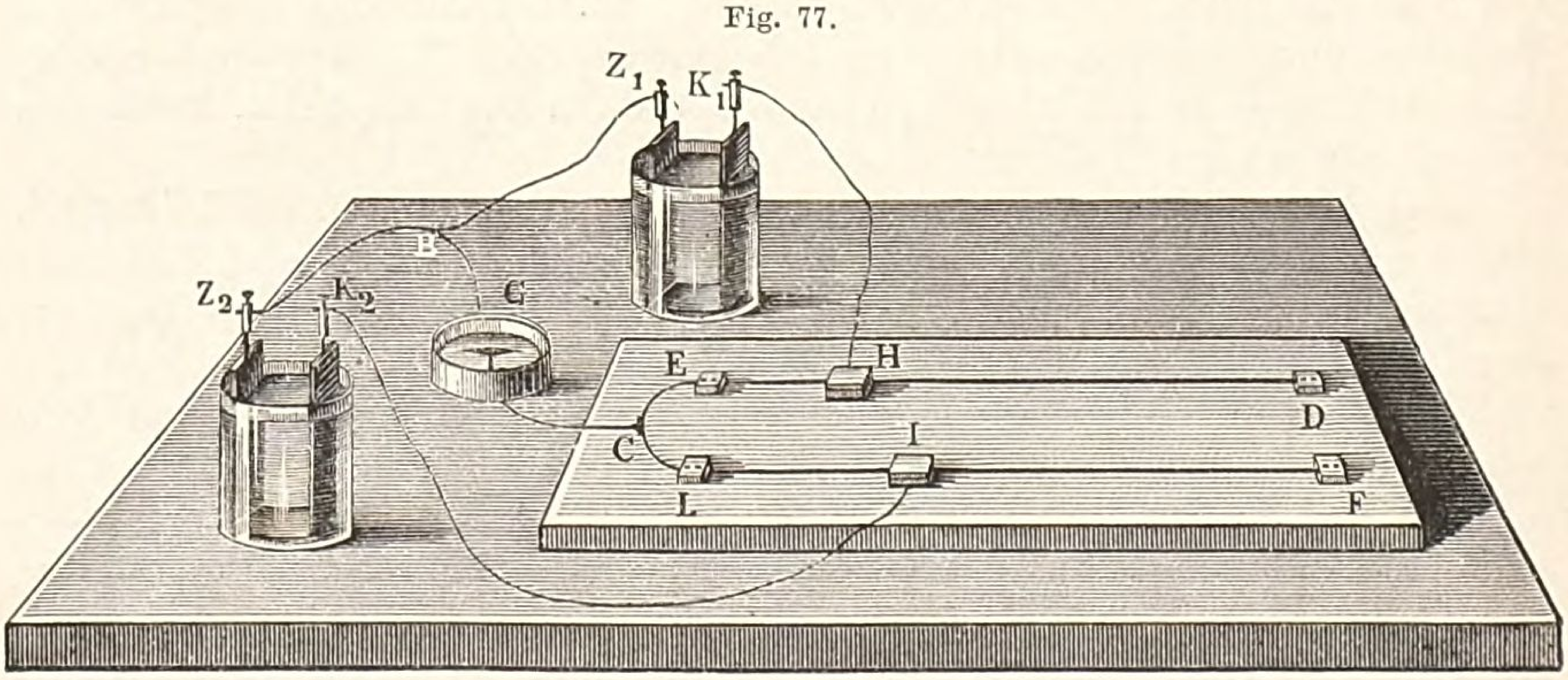
Fig. 76.



Gewöhnlich aber kennt man die inneren Widerstände nicht. Um diese Kenntniss unnöthig zu machen, braucht man nur in den Zweig $C A A_1 D$ auch einen Rheostaten einzuschalten und eine zweite Bestimmung zu machen, bei der man den Widerstand in diesem Zweige um eine bestimmte Grösse geändert hat. Dann muss man in R einen anderen Widerstand einschalten, um den Strom in BC zum Verschwinden zu bringen, und kann nun die elektromotorischen Kräfte direkt durch die abgelesenen Widerstände vergleichen.

Zur Ausführung dieser Messungen bedient man sich einer Anordnung, wie sie in Fig. 77 gezeichnet ist. In jedem Zweig befindet sich

Fig. 77.



als Rheostat ein ausgespannter Platindraht. Man stellt H zuerst fest und verschiebt I so lange, bis in G kein Strom sich zeigt. Dann giebt man H eine andere feste Stellung und verschiebt I wieder, bis

der Strom in G verschwindet; die elektromotorischen Kräfte der beiden Elemente verhalten sich dann wie die Längendifferenzen der Drähte bei den beiden Einstellungen von H und I.

d) Diese Methoden sind aber alle nur bei constanten Elementen anwendbar, d. h. bei solchen, deren elektromotorische Kraft sich nicht ändert, wenn auch ein Strom durch sie fliesst. Bei den meisten Elementen findet aber (aus später anzugebenden Gründen) eine solche Aenderung statt. Sie sind inconstante Elemente. Bei ihnen kann man dann die elektromotorische Kraft nur dadurch genau bestimmen, dass man den Strom in ihnen zum Verschwinden bringt, ihn compensirt. Dazu eignet sich nun die Stromverzweigung ausgezeichnet, die auf S. 65 beschrieben ist. In dieser lässt sich bewirken, dass in dem einen Zweige kein Strom fliesst, und wenn das stattfindet, so verhalten sich die elektromotorischen Kräfte wie bekannte Widerstände. Man schaltet also (Fig. 78) ein (constantes) Normalelement E_I und das zu untersuchende E_{II} gegen einander, bringt in die Brücke einen Rheostaten und in den Zweig von E_{II} ein Galvanoskop. Durch Ausschalten von Widerständen aus dem Rheostaten kann man dann bewirken, dass der Strom in dem Zweige von E_{II} verschwindet. Dann verhalten sich die elektromotorischen Kräfte wie bekannte Widerstände in der Brücke und im Zweige von E_I.

Fig. 78.

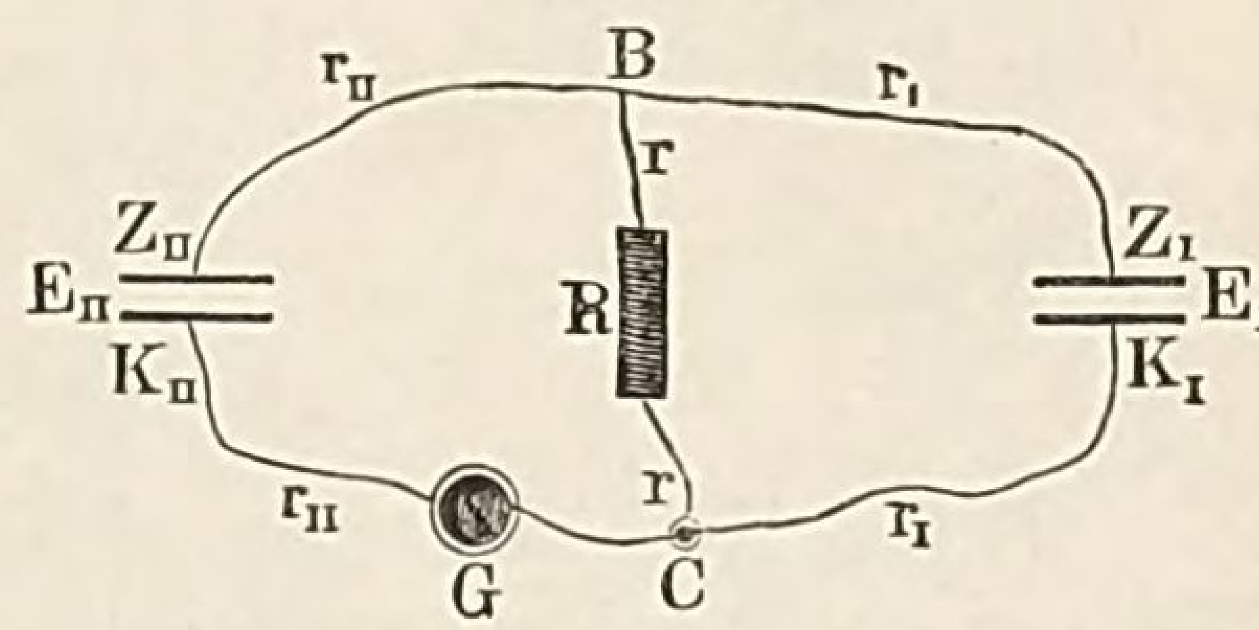
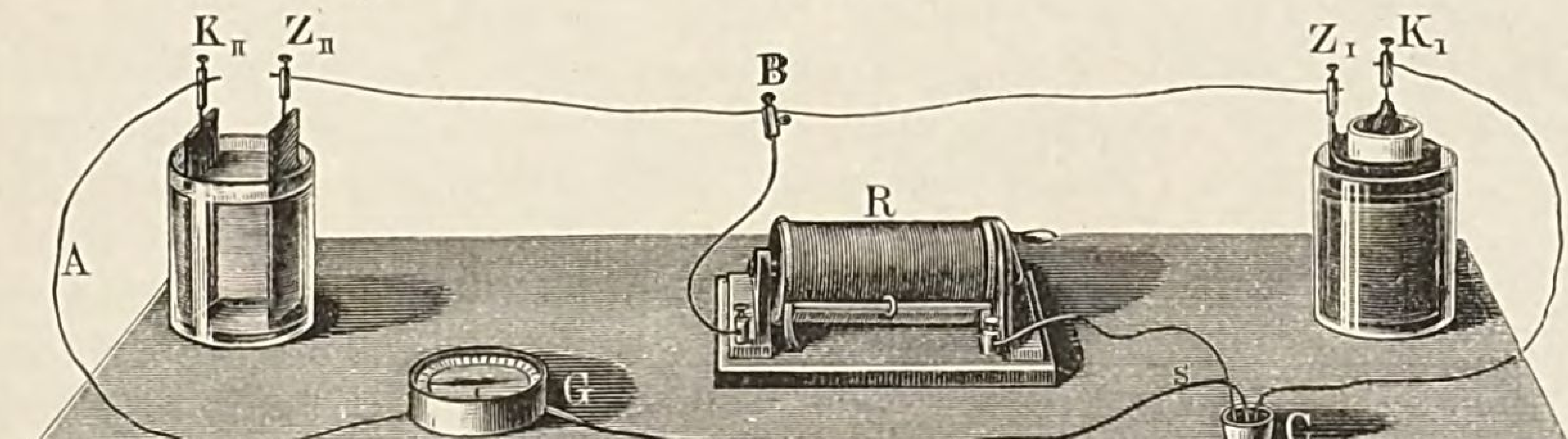


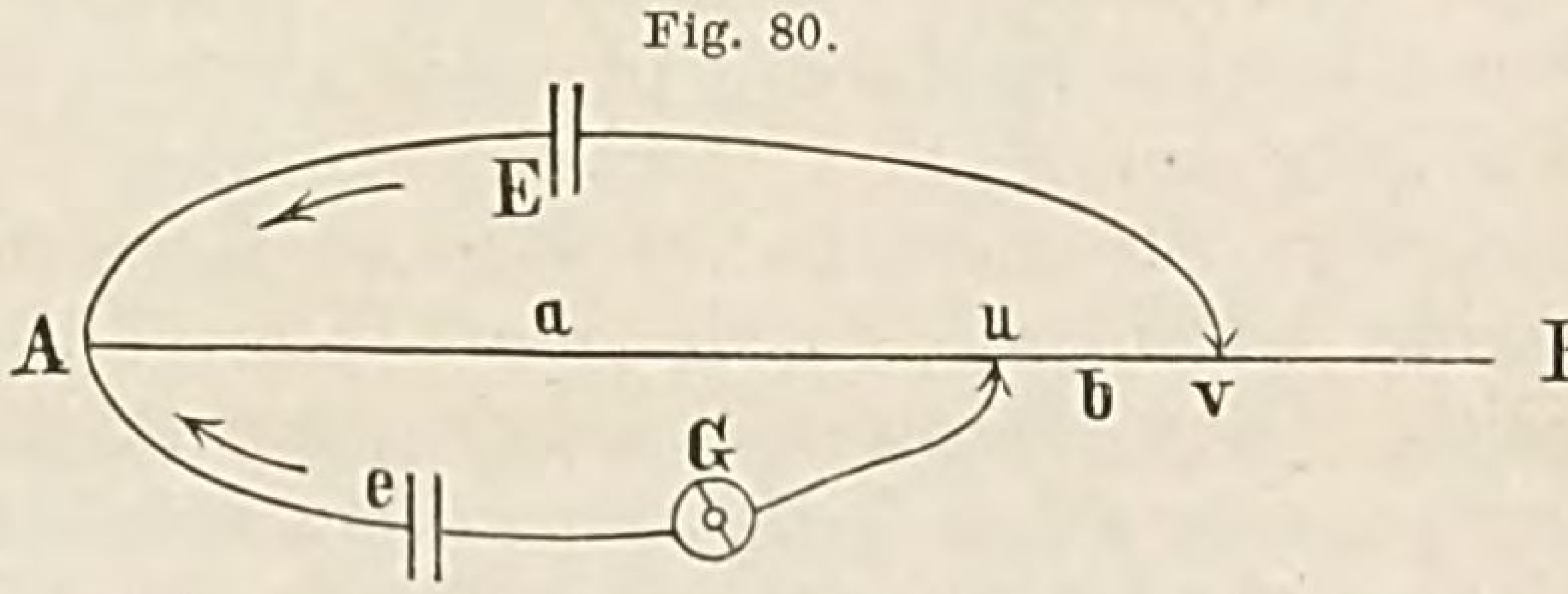
Fig. 79.



Zur Ausführung dieser Messungen verbindet man die Apparate wie in Fig. 79.

e) Einfacher noch gestaltet sich diese Methode, wenn man wieder die Verbindung so herstellt, wie sie in Fig. 80 gezeichnet und auf S. 84 schon einmal beschrieben war.

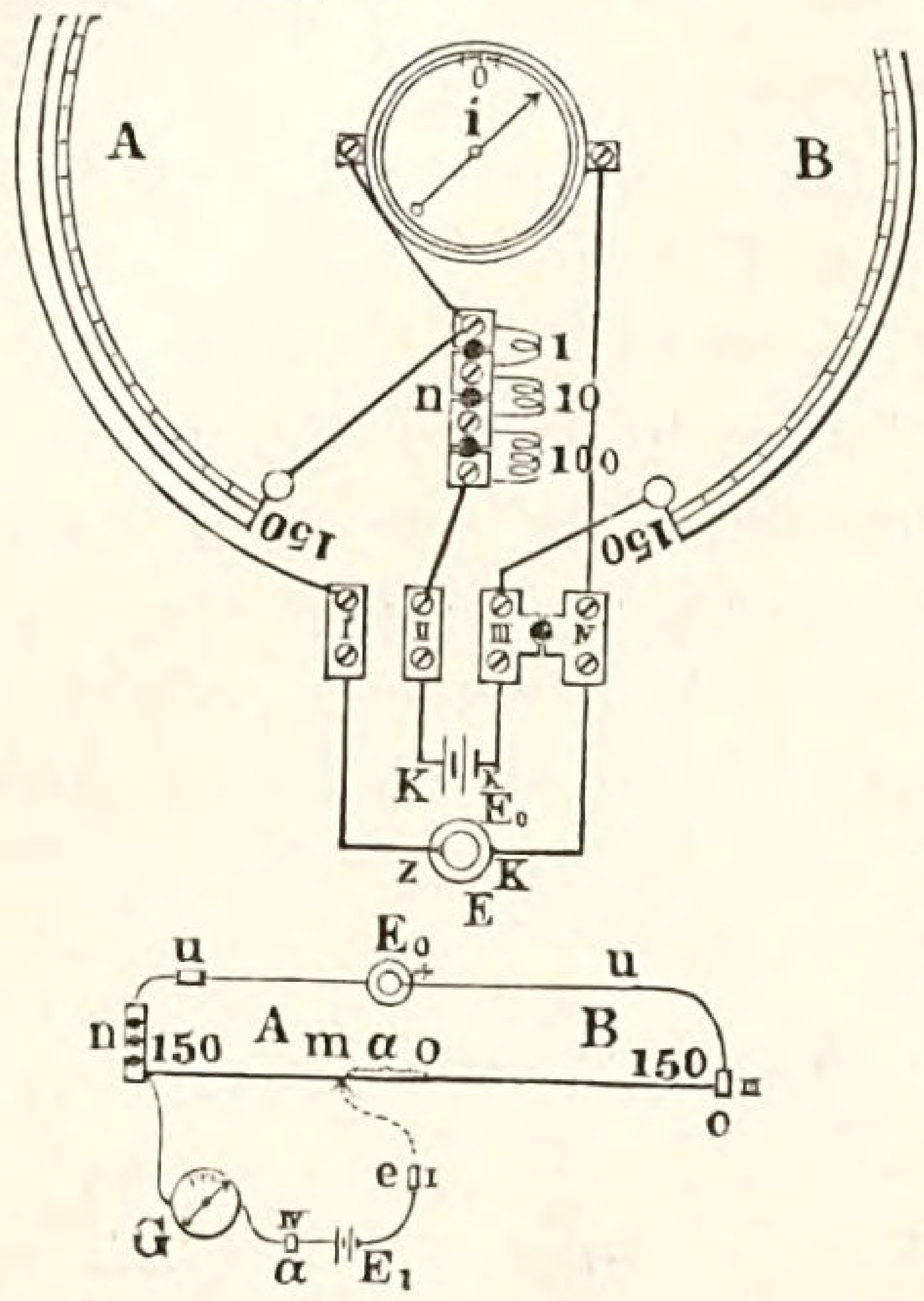
Fig. 80.



Macht man wieder zwei Bestimmungen, bei denen die Contakte u und v zwei verschiedene Lagen haben, so findet man die Verhältnisse

der elektromotorischen Kräfte direkt aus den Verhältnissen der benutzten Drahtlängen des Platindrahtes.

Fig. 81 u. 82.



Zur Anwendung der Compensationsmethode ist das Siemens'sche Universalgalvanometer speciell eingerichtet. Man schaltet zu dem Zweck, wie das Schema in Fig. 81 zeigt, ein starkes Element E_0 zwischen die Klemmen II und III, den Daniell und später das mit ihm zu vergleichende Element zwischen I und IV, steckt die Stöpsel in die vier Löcher h_1, h_2, h_3, h_4 und verschiebt beidemal den beweglichen Contakt so lange, bis das Galvanometer auf Null steht. Dann ist das Schema der Verbindungen das in Fig. 82 gezeichnete. Steht der Zeiger beim Daniell dann auf dem Theilstrich α_1, bei dem zu untersuchenden Element auf dem Theilstrich α_2, so verhält sich die elektromotorische Kraft des gesuchten Elements zu der des Daniells wie $\frac{150 - \alpha_2}{150 - \alpha_1}$.

Diese Methoden alle sind in den mathematischen Zusätzen am Ende dieses Kapitels genauer auseinandergesetzt.

Wir hatten bisher die Widerstände in Siemens-Einheiten gemessen, die elektromotorischen Kräfte in Daniells und die Stromintensitäten in Ausschlägen unserer Tangentenbussole.

Wir haben aber von diesen drei Grössen zwei schon auf bekannte Einheiten zurückgeführt.

Die elektromotorische Kraft eines Elements ist ja weiter nichts, als die Differenz der Potentiale, welche die beiden Metalle des Elementes haben, wenn es ungeschlossen ist. Die elektromotorische Kraft ist also eine Potentialdifferenz. Nun haben wir bereits auf S. 34 eine Einheit für das Potential bestimmt. Wir nannten diese Einheit 1 Volt. Wir können also jetzt als Einheit der elektromotorischen Kraft diejenige eines Elementes festsetzen, bei welchem die Differenz der Potentiale seiner Metalle grade 1 Volt ist. Man nennt nun auch diese Einheit der elektromotorischen Kraft 1 Volt. Die Grösse eines Volts ist ungefähr 5—10 % kleiner als die eines Daniells, so dass ein Bunsen'sches Element ein Kraft von 1,8—1,9 Volt hat.

Unter der Stärke des Stromes verstanden wir diejenige Menge von Elektricität, welche in einer Sekunde durch jeden Querschnitt des Stromkreises hindurchgeht. Als Einheit der Elektricitätsmenge hatten wir aber auf S. 9 1 Coulomb festgesetzt. Wir können deshalb jetzt diejenige Stromstärke als Einheit festsetzen, bei welcher in jeder Sekunde 1 Coulomb durch jeden Querschnitt des Stromkreises hindurchgeht. Diese Stromstärke hat man in der That als Einheit gewählt und nennt sie 1 Ampère. Wir werden später sehen, wie man die Grösse dieser Stromstärke durch die Grösse ihrer Wirkungen bestimmen kann.

Nachdem wir nun bestimmte Einheiten für die elektromotorische

Kraft und für die Stromstärke haben, können wir aus dem Ohm'schen Gesetz auch sofort eine Einheit für den Widerstand entnehmen. Nach dem Ohm'schen Gesetz ist ja stets

$$\text{Stromintensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}.$$

Wenn wir also eine elektromotorische Kraft haben, welche grade gleich der Einheit, gleich 1 Volt ist, und wir lassen durch sie die Elektricität durch einen Draht treiben, dessen Widerstand wir verändern können, so können wir den Widerstand so lange ändern, bis die Stromstärke auch grade gleich der Einheit, gleich 1 Ampère ist. Diesen Widerstand können wir dann als Einheit festsetzen.

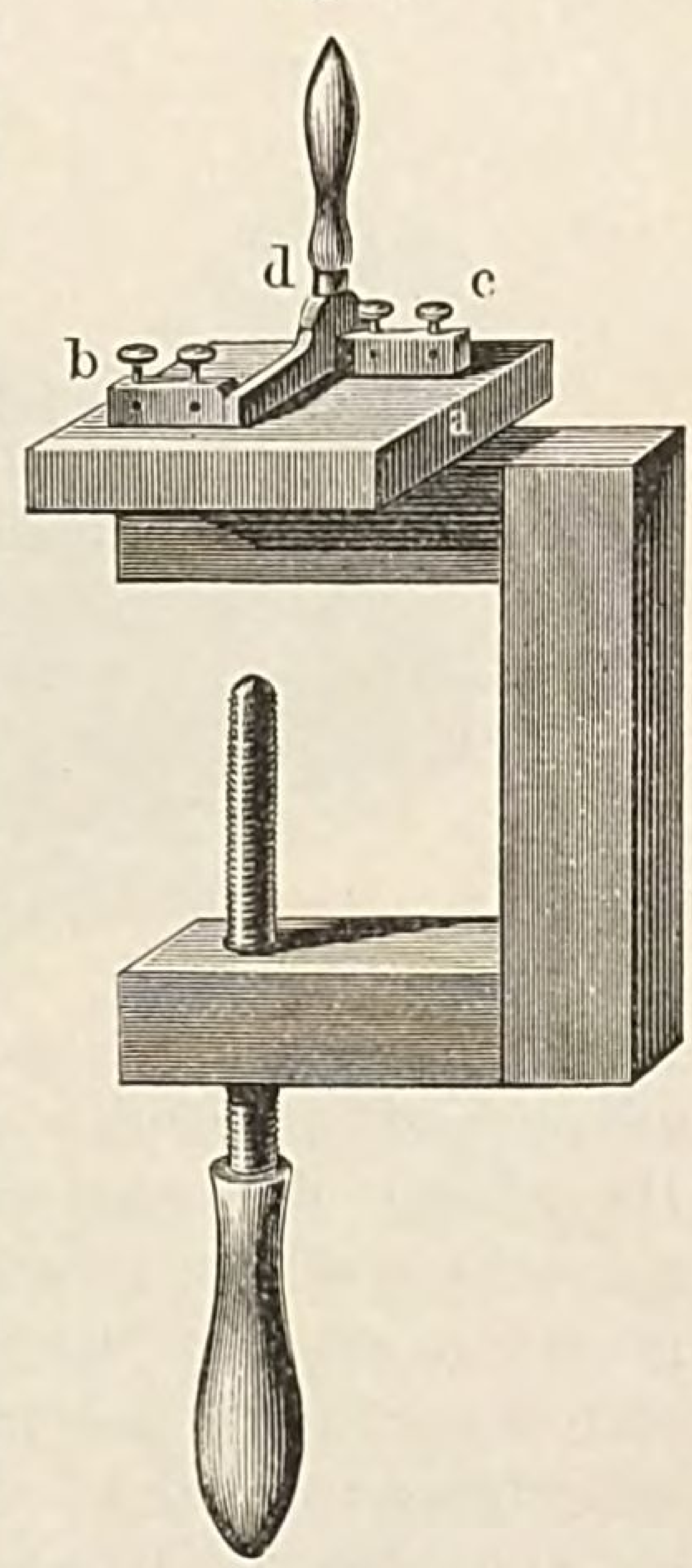
Man nennt diese Einheit 1 Ohm zu Ehren des Entdeckers des obenerwähnten, nach ihm benannten Ohm'schen Gesetzes.

Es ist also

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}.$$

Man drückt also alle Widerstände in Ohms aus. Um einen Anhaltspunkt für die Grösse eines Ohms zu gewinnen, kann man den Widerstand eines Ohms vergleichen mit dem eines Siemens. Die Vergleichung ist noch nicht ganz exakt durchführbar, weil die experimentelle Bestimmung der verschiedenen in Betracht kommenden Grössen noch nicht genau durchgeführt ist. Es ist der Widerstand eines Ohms etwa 5 % grösser als 1 Siemens. Die absolute experimentelle Bestimmung des Ohms ist erst Aufgabe der Forschung und wird wohl in der nächsten Zeit gelingen.

Fig. 83.



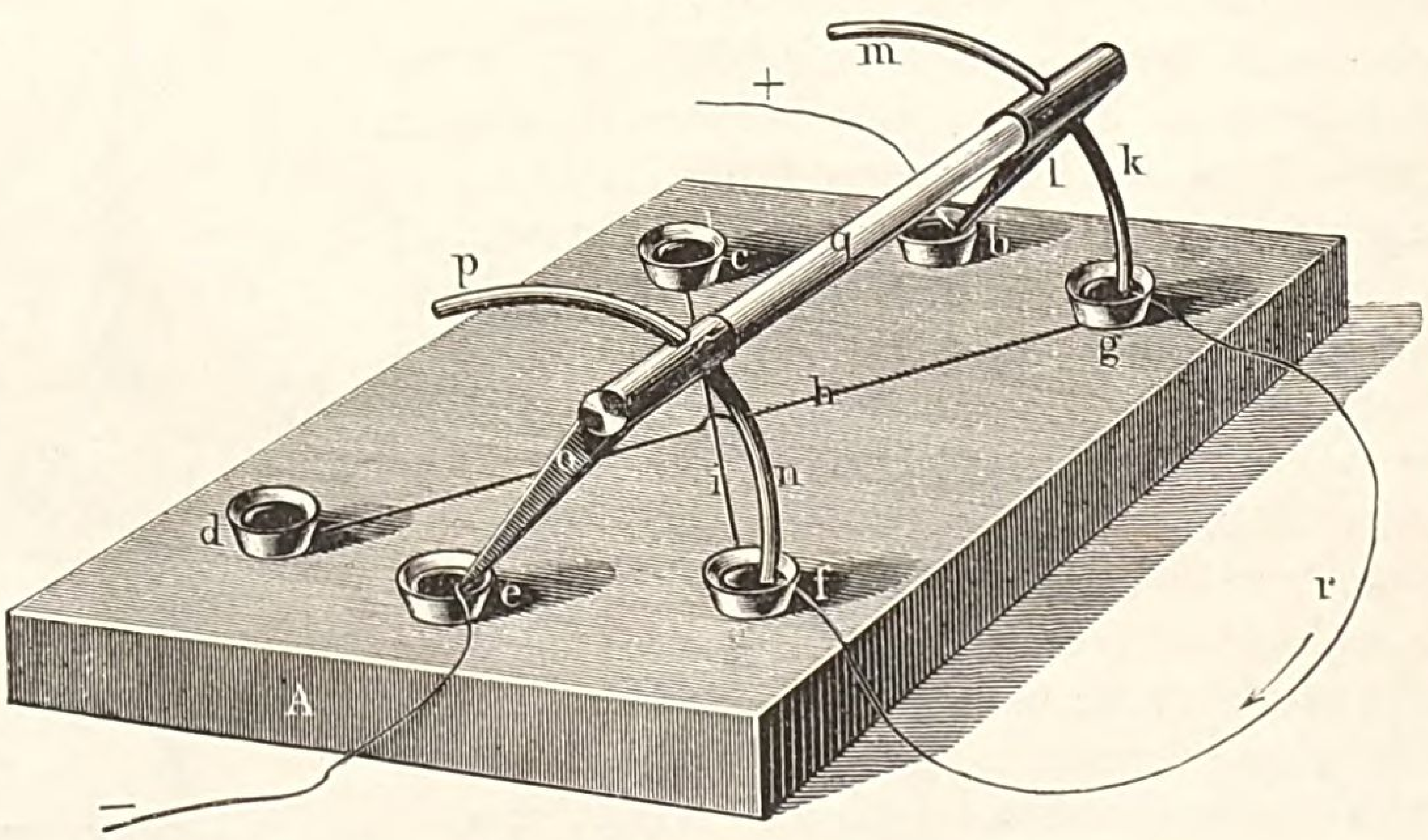
Wir müssen uns jetzt, nachdem wir die verschiedenen elektrischen Grössen zu messen und zu reduciren gelernt haben, noch mit einigen Apparaten vertraut machen, die bei elektrischen Untersuchungen häufig gebraucht werden.

Oft will man bei elektrischen Untersuchungen den galvanischen Strom rasch unterbrechen. Wollte man erst einen Draht aus einer Klemmschraube ausschrauben, wodurch ja der Strom unterbrochen würde, so wäre das eine zu langwierige Procedur. Man schaltet deshalb oft in den Weg des Stromes einen Apparat ein, der durch eine einzige Bewegung die Unterbrechung gestattet. Ein solcher Apparat ist in Fig. 83 gezeichnet. Man nennt ihn den Dubois'schen Schlüssel. Der wesentliche Theil des Apparates sitzt auf einer Holzklemme, die an jeden Tisch angeschraubt werden kann. Man verbindet den einen Pol des Elementes durch die Klemmschraube b mit dem einen Messingstück in der Figur, den anderen Pol mit dem anderen Messingstück c. Zwischen diesen beiden befindet sich ein an dem Holzgriff d befestigtes Messingstück, das in der Figur die Verbindung

zwischen b und c herstellt. Dieses Messingstück ist aber drehbar. Sowie man den Griff hinunterdrückt, geht das Verbindungsstück in die Höhe und die Verbindung zwischen b und c ist aufgehoben, der Strom unterbrochen.

Ferner ist oft erwünscht, die Stromrichtung in einem Apparat rasch umkehren zu können. Wenn man z. B. eine Tangentenbussole mit einem Element verbindet, so fliesst der Strom (das heisst immer der positive Strom) in einer bestimmten Richtung durch den Ring der Tangentenbussole, je nachdem man den Zinkpol mit dem einen oder mit dem anderen Ende des Ringes verbunden hat. Will man den Strom in entgegengesetzter Richtung durch den Ring fliessen lassen, so muss man den Zinkpol mit dem anderen Ende des Ringes verbinden. Dies kann man wieder durch Aus- und Einschrauben der Drähte erreichen, was aber Mühe und Zeit kostet. Man hat deshalb Apparate construirt, welche diese Umkehrung durch eine Bewegung vorzunehmen gestatten. Man nennt diese Apparate Commutatoren oder Gyrotrope. Ein einfacher Apparat für diesen Zweck ist der Pohl'sche Gyrotrop Fig. 84. Er besteht aus einer Unterlage von

Fig. 84.



Holz oder Paraffin, auf welcher sechs Näpfchen stehen, die mit Quecksilber gefüllt sind. In diese Näpfchen taucht nun ein beweglicher Bügel ein, der aus einem Glasstab q besteht, an dessen beiden Enden je ein metallener Dreifuss angekittet ist. Die mittleren Füsse tauchen in die mittleren Quecksilbernäpfchen, von den äusseren kann bald das eine Paar, bald das andere Paar in die ihm entsprechenden Näpfchen eingetaucht werden. Je zwei gegenüberliegende Ecknäpfchen d g und c f sind durch Drähte h und i mit einander verbunden.

Man wolle z. B. in dem Draht r den Strom plötzlich umkehren. Von dem positiven Pol des Elements führt man einen Draht in das Quecksilbernäpfchen b, von dem negativen nach e, während man die Enden des Drahtes r in die Quecksilbernäpfchen f und g taucht. Bei der in der Figur gezeichneten Lage des Bügels ist nun der Weg des Stromes folgender:

Vom positiven Pol des Elements nach b, durch den Metallfuss nach g, durch den Draht r in Richtung des Pfeiles nach f, durch den Metallfuss nach e und von dort zum negativen Pol des Elements. Einen anderen Weg hat der Strom nicht.

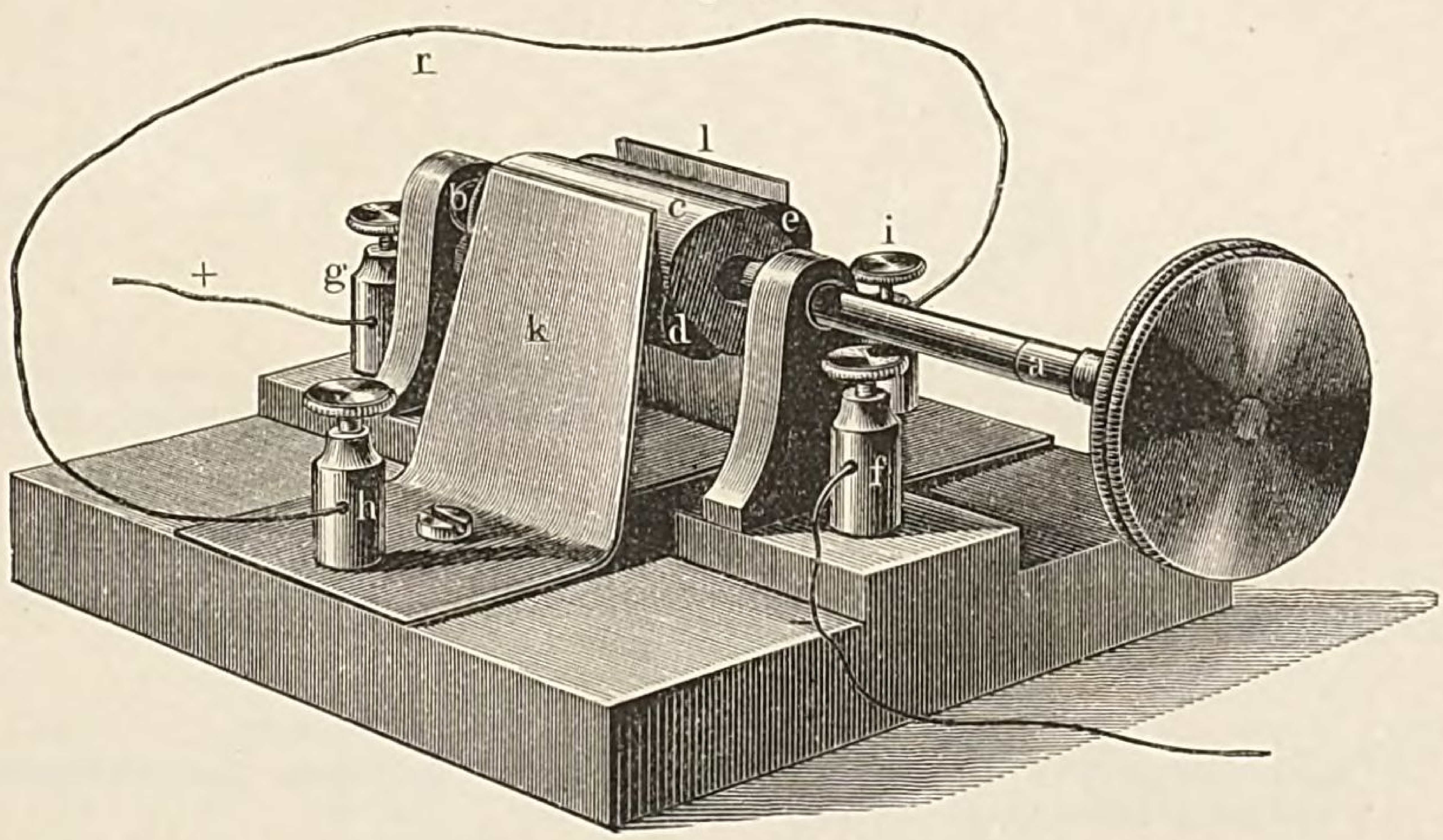
Legt man aber jetzt den Bügel um, während man sonst gar nichts ändert, so dass die beiden anderen Eckfüsse m und p in die unter ihnen befindlichen Quecksilbernäpfchen c und d tauchen, so ist der Weg des Stromes jetzt folgender:

Vom positiven Pol des Elements nach b, durch den Fuss nach c, durch den Draht i nach f, durch den Draht r entgegen der Richtung des Pfeiles nach g, durch den Draht h nach d, durch den Metallfuss nach e und von dort zum negativen Pol des Elements. Einen anderen Weg hat der Strom nicht.

Man hat also durch blosses Umlegen des Bügels bewirkt, dass der Strom im Drahte r das eine Mal in entgegengesetzter Richtung floss, wie das zweite Mal.

Ein anderer Commutator ist in Fig. 85 abgebildet, der Rühmkorff'sche Gyrotrop. Seine Wirkungsweise beruht darauf, dass

Fig. 85.



zwei Metallwülste e und d, die sich auf einem nicht leitenden Cylinder c befinden, gegen die Metallbleche l und k gedrückt werden und zwar das eine Mal e gegen l und d gegen k, das andere Mal umgekehrt durch eine Drehung der Cylinder e gegen k und d gegen l. Die Axe des Cylinders ist nämlich in der Mitte getheilt und ein Theil steht mit d, der andere mit e in leitender Verbindung. Die Wirkung des Commutators ist sonst aus der Figur leicht verständlich. Liegt der Cylinder, wie er in der Figur gezeichnet ist, so geht der positive Strom von g durch das metallene Lager b nach dem Wulst e, dann durch l zu i und durch den Draht r von i zu h, dann durch k zu d und durch die Axe zu f.

Wird der Cylinder aber umgedreht, so dass e gegen k drückt und d gegen l, so geht der Strom von g durch b zu e und von e

durch k zu h, dann durch den Draht r von h zu i und dann durch l, d, a, f weiter zum Element zurück.

Im Draht r hat also der Strom das eine Mal die entgegengesetzte Richtung wie das andere Mal.

Ist der Cylinder so gestellt, dass e und d grade sich oben und unten befinden, also nicht gegen k und l drücken, so ist der Strom ganz unterbrochen, da der Cylinder sonst ganz nichtleitend ist.

Man kann selbstverständlich solche Commutatoren auch noch auf ganz verschiedene andere Arten construiren. Die beiden beschriebenen sind die einfachsten und gebräuchlichsten.

Nachdem wir nunmehr das Hauptgesetz des elektrischen Stromes, das Ohm'sche Gesetz, kennen, das bei jedem elektrischen Strom, mag er herkommen, woher er wolle, gilt, wollen wir nun die Wirkungen des elektrischen Stromes der Reihe nach besprechen. Ein elektrischer Strom übt sowohl innerhalb seiner Bahn Wirkungen aus, als auch in der Umgebung seiner Bahn. Fast eine jede Wirkung, die der elektrische Strom erzeugt, ist, wie wir sehen werden, im Stande, auch selbst wieder einen elektrischen Strom zu erzeugen, wenn man die Einrichtungen dazu zweckmässig trifft.

Mathematische Zusätze.

A. **Das Ohm'sche Gesetz.** In einem einfachen, unverzweigten Stromkreis vom Gesammtwiderstand W, in dem eine elektromotorische Kraft E wirkt, herrscht eine Stromstärke i, welche gleich ist

$$i = \frac{E}{W}.$$

Der Gesammtwiderstand W ist die Summe aus dem inneren Widerstand des Elements w_i und dem äusseren Widerstand w, also

$$i = \frac{E}{w + w_i}.$$

1) Hinter einander geschaltete Ketten. Hat man n gleiche Elemente hinter einander geschaltet, so ist die Stromstärke

$$i = \frac{nE}{w + n w_i}.$$

Ist also w sehr gross gegen $n w_i$, so ist angenähert

$$i = \frac{nE}{w}.$$

Ist dagegen w sehr klein gegen $n w_i$, so ist angenähert

$$i = \frac{E}{w_i}.$$

2) Neben einander geschaltete Ketten. Sind n Elemente neben einander geschaltet, so ist

$$i = \frac{E}{w + \frac{w_i}{n}} = \frac{nE}{nw + w_i}.$$

Ist also nw gross gegen w_i, so ist

$$i = \frac{E}{w}.$$

Ist dagegen nw klein gegen wi, so ist

$$i = \frac{nE}{wi}.$$

3) Hinter- und Nebeneinanderschaltung von Elementen. Sind $a = m \cdot n$ Elemente vorhanden, von denen je m hinter einander und n solche Ketten neben einander geschaltet sein mögen, so ist

$$i = \frac{mE}{w + \frac{m}{n} wi}.$$

4) Zweckmässigste Schaltung einer gegebenen Zahl von Elementen. Sind n Elemente gegeben, so soll die zweckmässigste Art der Schaltung gefunden werden, um bei einem bekannten äusseren Widerstande w die grösste Stromstärke zu erhalten. Schaltet man x von diesen Elementen neben einander, so kann man $\frac{n}{x}$ solche Reihen bilden, die man hinter einander schaltet. Es ist dann

$$i = \frac{\frac{n}{x} E}{w + \frac{n}{x^2} wi}.$$

Um das Maximum von i zu finden (bei Veränderung von x) hat man zu bilden $\frac{di}{dx} = 0$. Dies giebt

$$-\frac{n}{x^2} \frac{E}{w + \frac{n}{x^2} wi} + \frac{2n\, wi}{x^3} \frac{\frac{n}{x} E}{\left(w + \frac{n}{x^2} wi\right)^2} = 0$$

$$\text{also} \quad \frac{n}{x^2} wi - w = 0.$$

Der äussere Widerstand w muss also gleich dem gesammten inneren Widerstand, $\frac{n}{x^2} wi$, sein.

Zur Bestimmung von x hat man

$$x = \sqrt{\frac{n\, wi}{w}}.$$

Man hat für x diejenige ganze Zahl zu nehmen, welche der hieraus berechneten am nächsten liegt. Ist z. B. $wi = 0{,}1$ Siemens, $n = 20$, $w = 0{,}6$ Siemens, so ist x nahe an 2. Man hat also je 2 Elemente neben einander zu schalten und 10 solcher Paare hinter einander.

B. **Die Kirchhoff'schen Gesetze.** In einem beliebig verzweigten System von Leitern, bei welchem in beliebigen Zweigen elektromotorische Kräfte wirken, gelten die beiden folgenden Gesetze. Es seien die Stromstärken in den einzelnen Zweigen $i_1\, i_2\, i_3 \ldots i_n$, die Widerstände derselben $w_1\, w_2\, w_3 \ldots w_n$.

a. Für jeden Punkt, an dem mehrere (m) Leiter einander treffen, ist

$$i_1 + i_2 + i_3 \ldots + i_m = 0.$$

Darin sind alle nach dem Treffpunkt hinfliessenden Ströme mit entgegengesetzten Vorzeichen zu nehmen, als die wegfliessenden.

b. Für jeden vollkommen geschlossenen Kreis in dem Stromsystem gilt die Gleichung

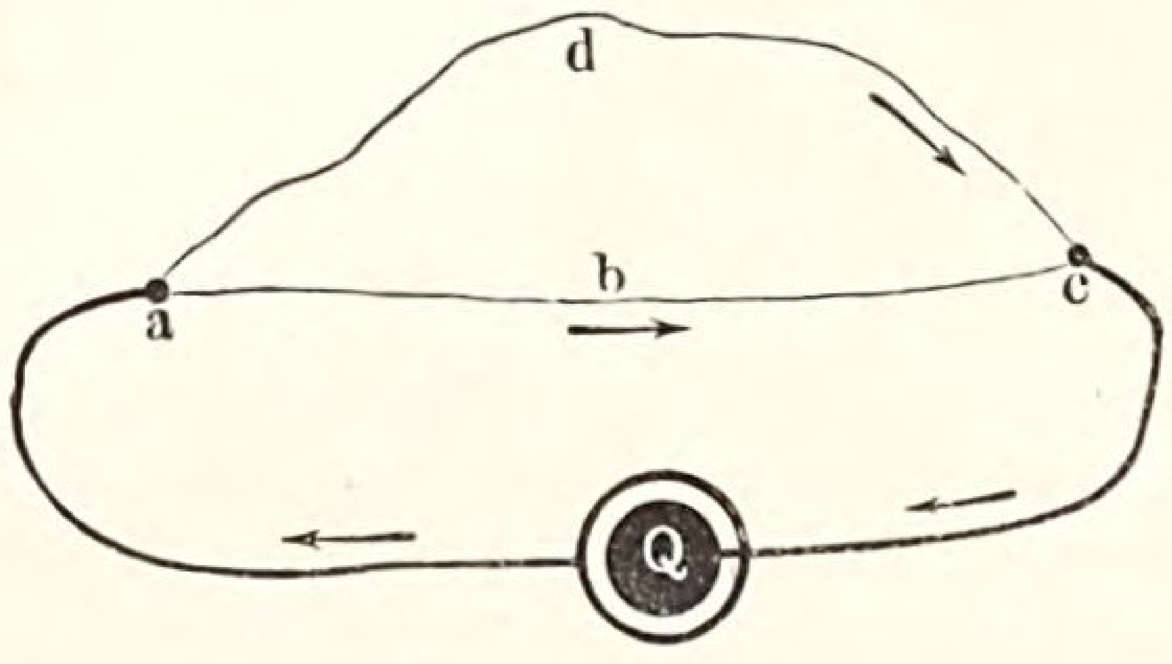
$$i_1 w_1 + i_2 w_2 + i_3 w_3 \ldots + i_m w_m = E.$$

Darin ist E die gesammte in diesem Kreis wirkende elektromotorische Kraft (die $= 0$ ist, wenn in dem Kreis sich kein Element befindet), und es sind die i mit denselben Vorzeichen zu nehmen, wenn die Ströme nach derselben Richtung fliessen, im anderen Falle mit entgegengesetzten Vorzeichen.

Beispiele: 1) Einfache Stromverzweigung (Fig. a) s. S. 61.
Es seien Stromstärke und Widerstand in:

aQC	abc	adc
$J.W$	$i_1.w_1$	$i_2.w_2$.

Fig. a.



Dann giebt das Gesetz a

$$J - i_1 - i_2 = 0.$$

Das Gesetz b

$$JW + i_1 w_1 = E;\ JW + i_2 w_2 = E$$

Daraus folgt

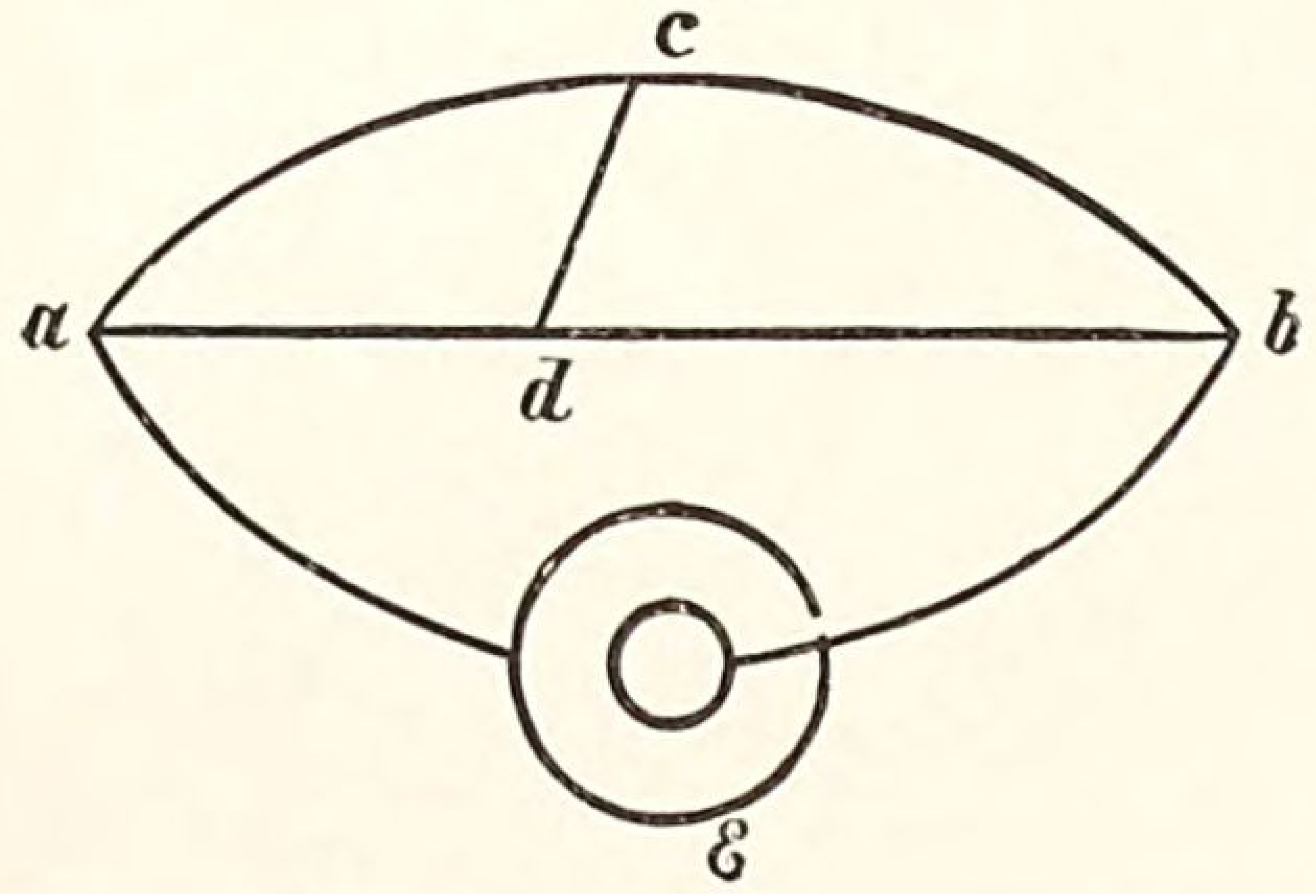
$$J = \frac{E(w_1 + w_2)}{Ww_1 + Ww_2 + w_1 w_2}$$

$$i_1 = \frac{E w_2}{Ww_1 + Ww_2 + w_1 w_2}$$

$$i_2 = \frac{E w_1}{Ww_1 + Ww_2 + w_1 w_2}.$$

2) Brückenverzweigung (Fig. b) s. S. 63.

Fig. b.



Es seien Stromstärke und Widerstand in:

aEb	ac	cb	ad	db	cd
$J.W$	$i_1.w_1$	$i_2.w_2$	$i_3.w_3$	$i_4.w_4$	$i.w$

Dann giebt Gesetz a

$$J = i_1 + i_3 = i_2 + i_4$$
$$i = i_1 - i_2.$$

Das Gesetz b giebt

$$iw = i_3 w_3 - i_1 w_1 = i_2 w_2 - i_4 w_4$$
$$JW + i_3 w_3 + i_4 w_4 = E.$$

Daraus ergiebt sich, wenn der allen gemeinschaftliche Nenner mit N bezeichnet wird:

$$N = Ww(w_1 + w_2 + w_3 + w_4) + W(w_1 + w_3)(w_2 + w_4) + w(w_1 + w_2)(w_3 + w_4) + w_1 w_2 (w_3 + w_4) + w_3 w_4 (w_1 + w_2)$$

$$J = \frac{E[w(w_1 + w_2 + w_3 + w_4) + (w_1 + w_3)(w_2 + w_4)]}{N}$$

$$i_1 = \frac{E[w(w_3 + w_4) + w_3(w_2 + w_4)]}{N}$$

$$i_2 = \frac{E[w(w_3 + w_4) + w_4(w_1 + w_3)]}{N}$$

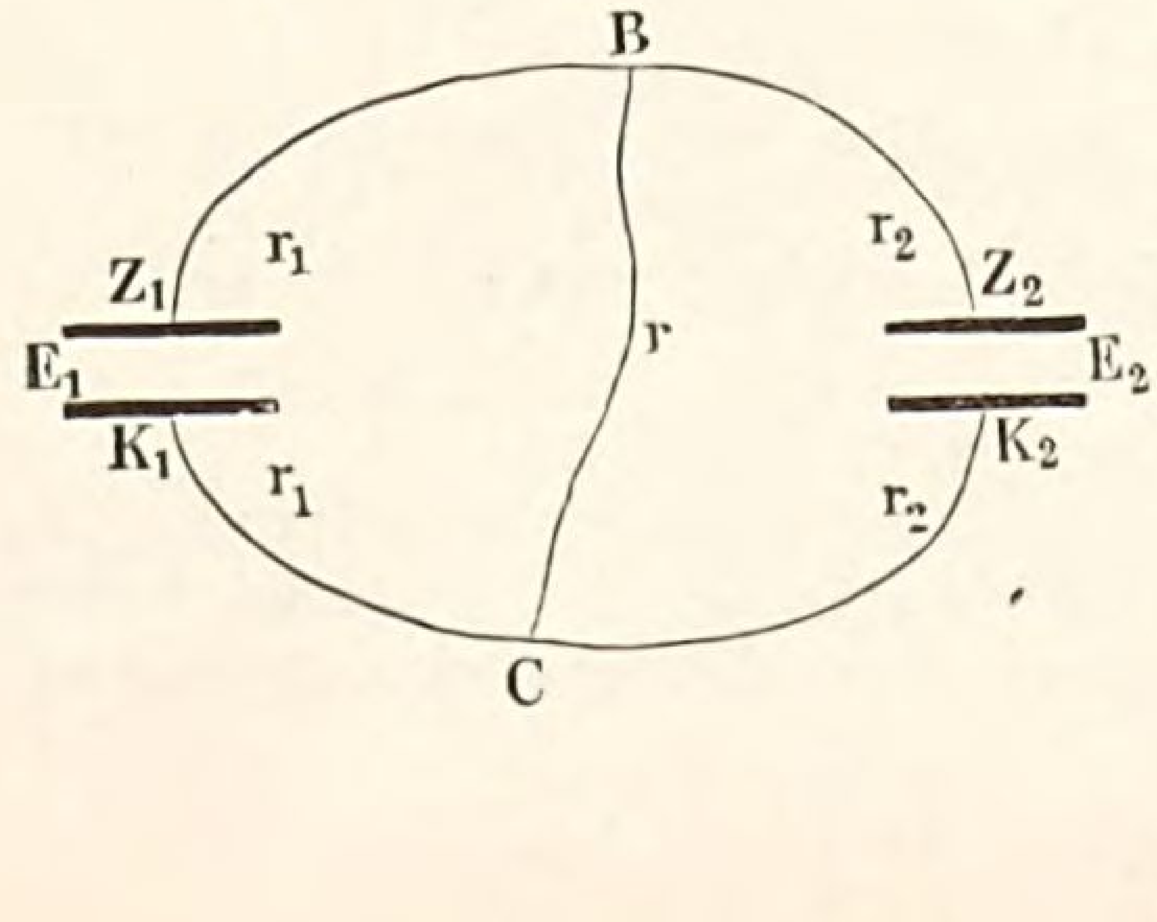
$$i_3 = \frac{E[w(w_1 + w_2) + w_1(w_2 + w_4)]}{N}$$

$$i_4 = \frac{E[w(w_1 + w_2) + w_2(w_1 + w_3)]}{N}$$

$$i = \frac{E[w_2 w_3 - w_1 w_4]}{N}.$$

Aus der letzten Gleichung ergiebt sich, dass $i = 0$ ist, wenn $w_2 w_3 - w_1 w_4 = 0$ ist, also wenn $\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}$ ist.

Fig. c.



3) Zwei Elemente und Brücke (Fig. c) s. S. 65.

Es seien E_1 und E_2 die elektromotorischen Kräfte der beiden Elemente und es seien Stromstärke und Widerstand in:

BE_1C	BE_2C	BC
$i_1.w_1$	$i_2.w_2$	$i.w$

α. Die beiden Elemente seien gegen einander geschaltet (Z mit Z und Cu mit Cu verbunden). Dann liefern die beiden Gesetze a und b

$$i = i_1 + i_2$$
$$i_1 w_1 + i w = E_1$$
$$i_2 w_2 + i w = E_2.$$

Und daraus folgt:

$$i_1 = \frac{E_1 (w + w_2) - E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$
$$i_2 = \frac{E_2 (w + w_1) - E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$
$$i = \frac{E_1 w_2 + E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}.$$

Ist $E_2 < E_1$, so kann $i_2 = 0$ werden, und zwar tritt das ein, wenn

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{w}{w + w_1} \text{ ist.}$$

β. Die beiden Elemente seien hinter einander geschaltet (Z mit Cu verbunden), dann ist

$$i = i_1 - i_2$$
$$i_1 w_1 + i w = E_1$$
$$i_2 w_2 - i w = E_2$$

und daraus folgt

$$i_1 = \frac{E_1 (w + w_2) + E_2 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$
$$i_2 = \frac{E_2 (w + w_1) + E_1 w}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}$$
$$i = \frac{E_1 w_2 - E_2 w_1}{w w_1 + w w_2 + w_1 w_2}.$$

Es kann also $i = 0$ werden, und das tritt ein, wenn

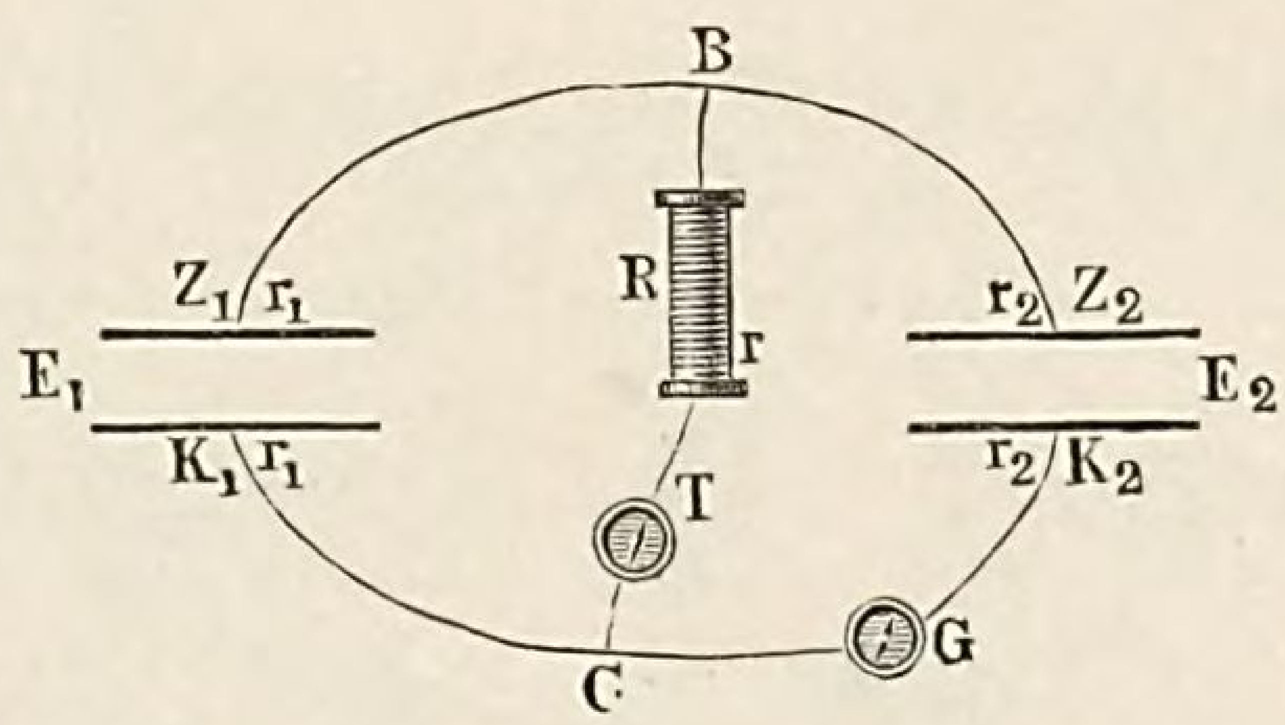
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \text{ ist.}$$

C. **Bestimmung des inneren Widerstandes von Elementen mittelst Stromverzweigung.**

1) Methode von Waltenhofen (S. 83) (Fig. d).

Hat man n gleiche Elemente und setzt man bei jedem gleichen Widerstand wi voraus, so kann man diesen bestimmen, indem man n_1 von diesen Elementen an die Stelle von $Z_1 K_1$, die übrigen $n - n_1$ an die Stelle von $Z_2 K_2$ bringt und aus dem Rheostaten in der Brücke so lange Widerstand ausschaltet, bis der Strom in G gleich Null ist. Dann ist nach B. 3 α

Fig. d.



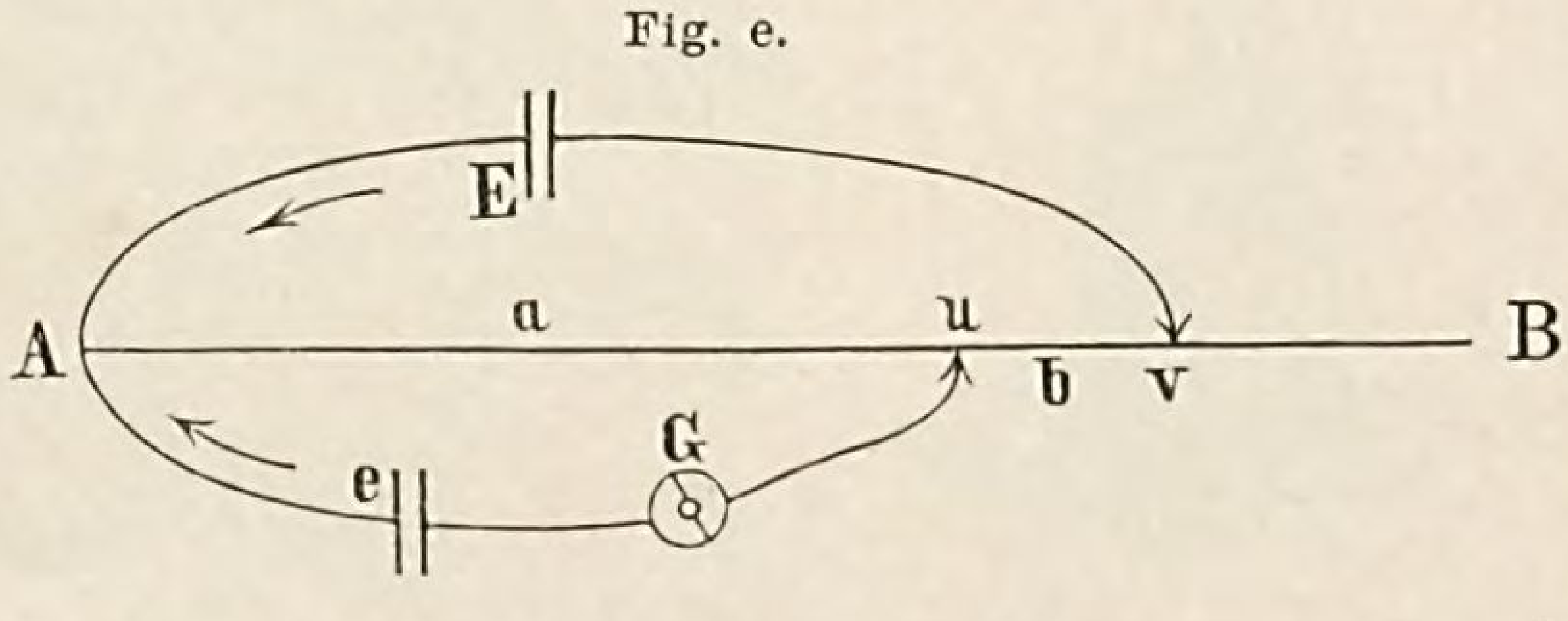
$$\frac{n_1}{n - n_1} = \frac{w + n_1 wi + w_1}{w}$$

wo wi der innere Widerstand jedes Elements, w der Widerstand in BC und w_1 der Drahtwiderstand des Zweiges BE_1C ist.

2) Methode von Bosscha (S. 84) (Fig. e).

Man schaltet E und e gegen einander, stellt u fest und verschiebt v so lange, bis in G kein Strom fliesst. Ist der Widerstand von $Au = a$, von $uv = b$, so ist nach B. 3 α

Fig. e.



$$\frac{E}{e} = \frac{a + b + wi + w_1}{a}$$

wenn wi der Widerstand von E, w_1 der Drahtwiderstand von AEv ist. Stellt man u anders ein und verschiebt v wieder, bis in G kein Strom ist, und sind die entsprechenden Widerstände jetzt a' und b', so ist

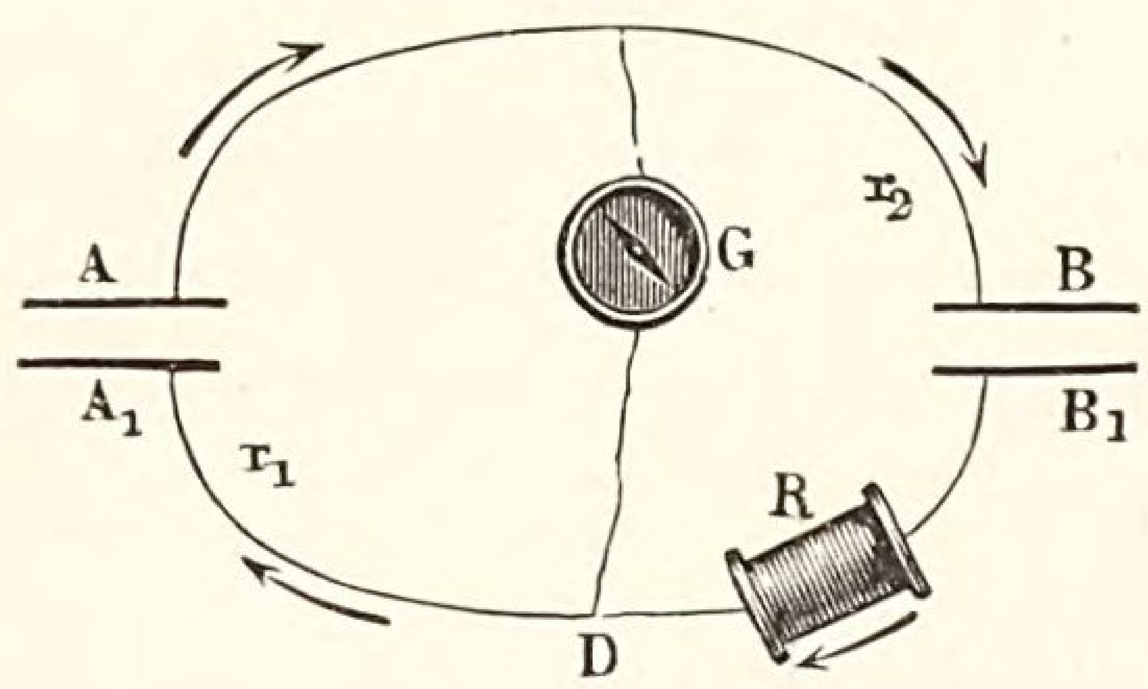
$$\frac{E}{e} = \frac{a' + b' + wi + w_1}{a'},$$

$$\text{also} \quad wi = \frac{a'b - ab'}{a - a'} - w_1.$$

D. **Bestimmung der elektromotorischen Kraft mittelst Stromverzweigung.** (S. 86.) (Fig. f.)

1) Man schaltet das Normalelement E_1 und das zu bestimmende E_2 hinter einander und schaltet aus R so viel Widerstand ein, dass in DC der Strom verschwindet. Dann ist nach B. 3 β

Fig. f.



$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{w_2}{w_1}.$$

Zu w_1 und w_2 gehören die inneren Widerstände von E_1 und E_2, die man also kennen muss.

2) Schaltet man in CAA_1B auch einen Rheostaten ein und schaltet aus ihm noch einen bestimmten Widerstand a aus, so dass man in BB_1C einen weiteren Widerstand b ausschalten muss, so ist

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{w_2}{w_1}$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{w_2 + b}{w_1 + a}$$

$$\text{also} \quad \frac{w_2}{w_1} = \frac{b}{a}$$

$$\text{und daher} \quad \frac{E_2}{E_1} = \frac{b}{a}.$$

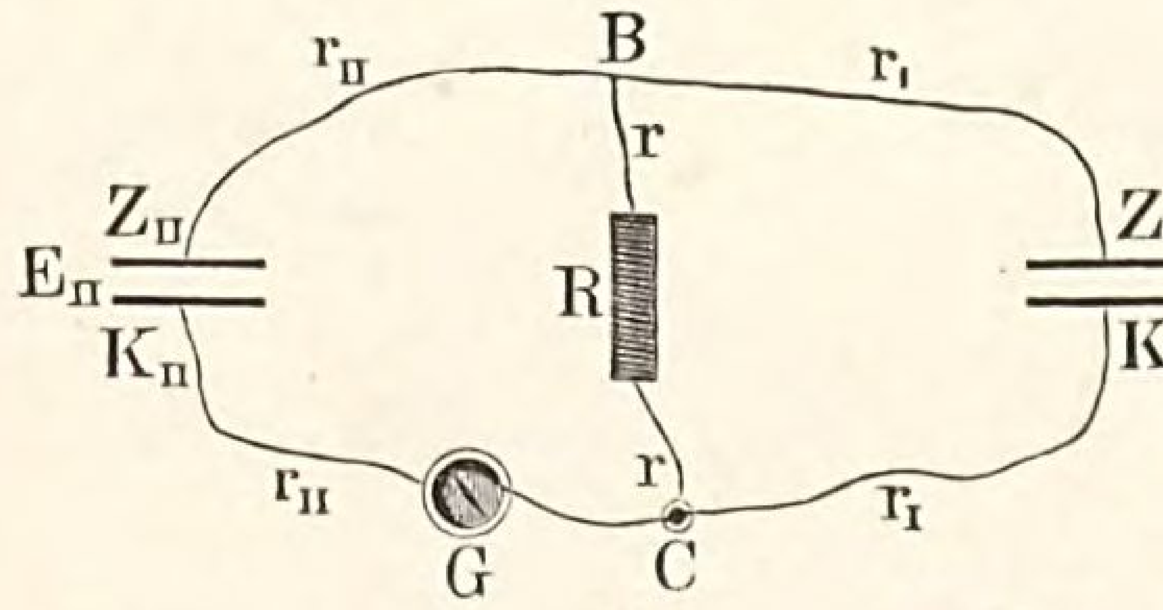
Dadurch umgeht man die Kenntniss der inneren Widerstände (S. 86).

3) Compensationsmethode (Fig. g) (S. 87).

Das zu bestimmende Element E_2 und ein Normalelement E_1 werden gegen einander geschaltet (B. 3 α). Dann ist, wenn der Strom in G verschwindet

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{w}{w_1 + w}.$$

Fig. g.



w ist der Widerstand in der Brücke BC, w_1 der im Zweige BE_1C. Dazu gehört auch der innere Widerstand von E_1, den man also kennen oder bestimmen muss.

4) Ohne diesen Widerstand zu kennen, bestimmt man $\frac{E}{e}$ auf dieselbe Weise, wie es in C 2 angegeben ist.

Es ist

$$\frac{E}{e} = 1 + \frac{b + wi + w_1}{a} = 1 + \frac{b' + wi + w_1}{a'},$$

$$\text{also} \quad \frac{E}{e} = 1 + \frac{b - b'}{a - a'}.$$

4. Kapitel.

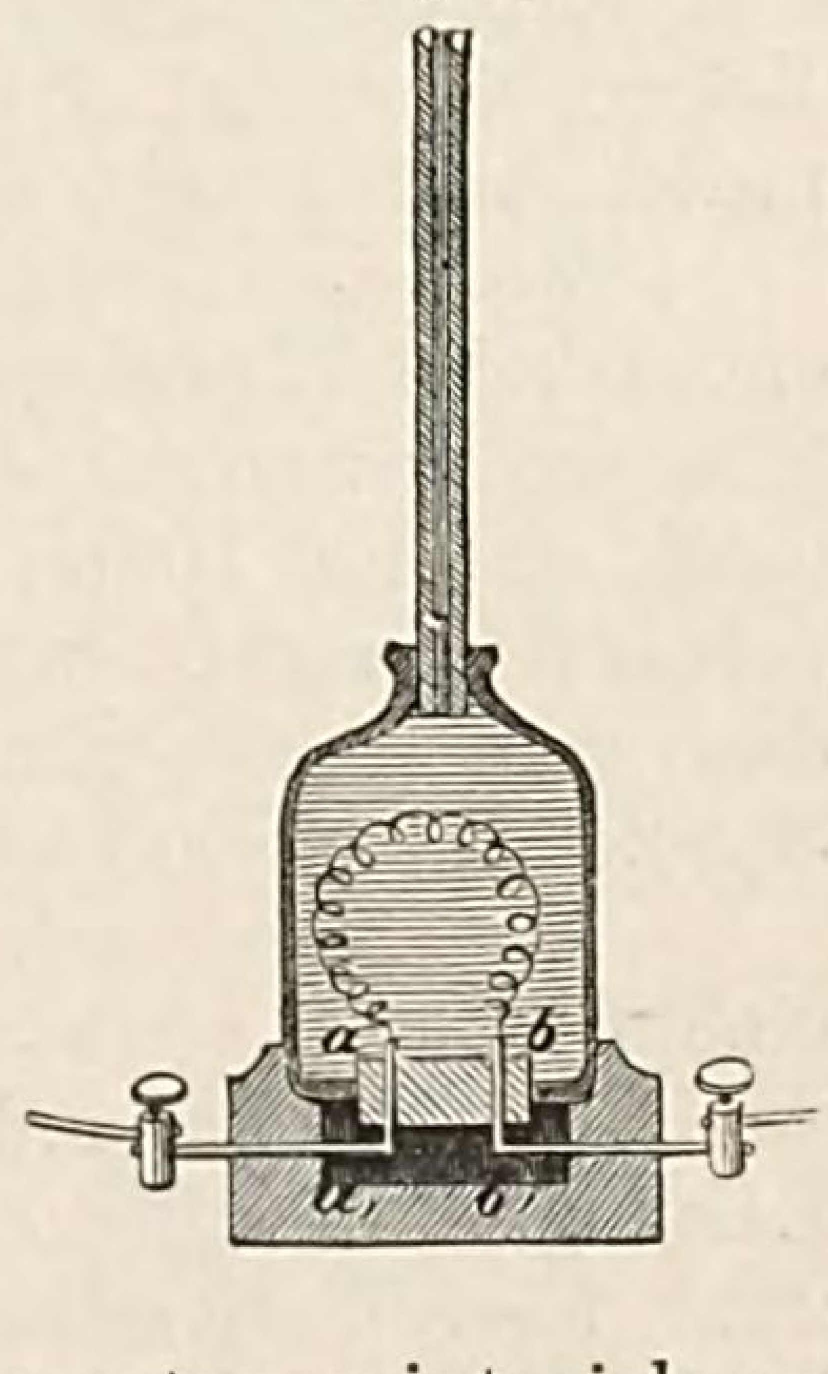
Die Wärme und Lichtwirkungen des elektrischen Stromes. Thermoelektricität.

Ein elektrischer Strom fliesst dauernd nur durch eine ganz geschlossene Kette von Leitern. Auf seinem ganzen Wege müssen sich leitende Körper, Metalle, Kohle, Flüssigkeiten an einander schliessen, um dem Strom den Durchgang zu gestatten. Sowie an einer Stelle die Leitung unterbrochen ist, hört der Strom zu fliessen auf. Es befindet sich dann zwar an den beiden getrennten Enden der Leitung freie Elektricität, aber diese kann durch die trennende Schicht, bestehe sie nun aus Luft oder Glas, oder Ebonit oder aus einem anderen Isolator, im Allgemeinen nicht hindurchfliessen.

In den elektrischen Leitern selbst aber bringt der Strom während seines Durchflusses Wirkungen hervor, die ganz verschiedener Art sein können, je nach der Natur der Leiter, die vom Strome durchflossen werden.

Wir wollen zuerst den Strom vom galvanischen Element aus nur durch Leiter erster Klasse, also durch Metalle oder durch Kohle senden, also nicht durch Flüssigkeiten, ausser etwa durch das metallische Quecksilber.

Fig. 86.



Ein jeder solcher Leiter, ein jedes Metall, ein jedes Stück Kohle, durch welches der Strom fliesst, wird erwärmt. Man kann sich davon leicht durch einen Versuch überzeugen, indem man einen dünnen Draht, am besten aus Platin, spiralförmig in ein Gefäss mit Weingeist taucht, in welchem sich ein Thermometer befindet, wie in Fig. 86. Sowie man die Enden des Platindrahtes, die durch einen Kork gesteckt sind, mit den Polen einer galvanischen Säule verbindet, fliesst der Strom durch den Platindraht (durch den Alkohol nicht, weil Alkohol ein Isolator ist) und der Draht wird dadurch erwärmt. Diese Wärme theilt sich dem Alkohol mit, dessen Temperatur steigt, und die Erhöhung der Temperatur zeigt sich an dem Thermometer an.

Bayerische Staatsbibliothek München

In jedem einzelnen Theile des Drahtes wird durch den Strom Wärme erzeugt, und man kann sich leicht überzeugen, dass, wenn ein und derselbe Strom durch eine Drahtleitung fliesst, in der Drähte von grösserem und geringerem Widerstand enthalten sind, immer in denjenigen Theilen, die den grösseren Widerstand haben, auch die Erwärmung eine grössere ist. Schliessen wir z. B. eine galvanische Säule durch einen Schliessungskreis, in welchem sich zwei Drahtspiralen je in einem Gefäss mit Alkohol und Thermometer befinden, wie in Fig. 86 eines gezeichnet ist, nehmen wir aber die beiden Spiralen so, dass sie ungleichen Widerstand haben, dass die erste z. B. einen grösseren Widerstand hat, als die zweite, so zeigen uns die Angaben der Thermometer, dass in der ersten Spirale mehr Wärme entwickelt wurde, wie in der zweiten. Die Stärke des Stromes ist im ganzen Stromkreis, also auch in den Spiralen dieselbe; die Erwärmung der einzelnen Leiterstücke hängt also ab von ihrem Widerstand und ist um so grösser, je grösser der Widerstand ist.

Aber die Erwärmung jedes einzelnen Leiterstückes hängt nicht blos ab von der Grösse seines Widerstandes, sondern hängt auch wesentlich ab von der Stärke des Stromes, der durch ihn durchfliesst. Aendern wir die Stärke des Stromes, indem wir in den Kreis neue Widerstände einschalten oder aus ihm ausschalten, machen wir also die Stromstärke im ganzen Kreis, also auch in den Spiralen kleiner oder grösser, so wird auch die Erwärmung jedes einzelnen Drahtstückes kleiner oder grösser. Aber die Erwärmung ändert sich nicht in ebendemselben Masse wie die Intensität, sondern in viel höherem Masse. Wird die Intensität des Stromes doppelt, dreifach, vierfach so gross, als sie war, so wird die Erwärmung jedes einzelnen Leiterstückes bei sonst gleichen Umständen schon vier-, neun-, fünfundzwanzigmal so gross. Die Erwärmung hängt also ab von dem Quadrat der Stromstärke.

Diese beiden Grössen, Widerstand des Leiterstückes und Stärke des durchfliessenden Stromes, sind aber auch die einzigen, von welchen die Erwärmung abhängt. In jedem Leiterstück ist die in jeder bestimmten Zeit, also z. B. in einer Sekunde, entwickelte Wärmemenge gleich dem Widerstand des Leiterstückes, multiplicirt mit dem Quadrat der Stromstärke.

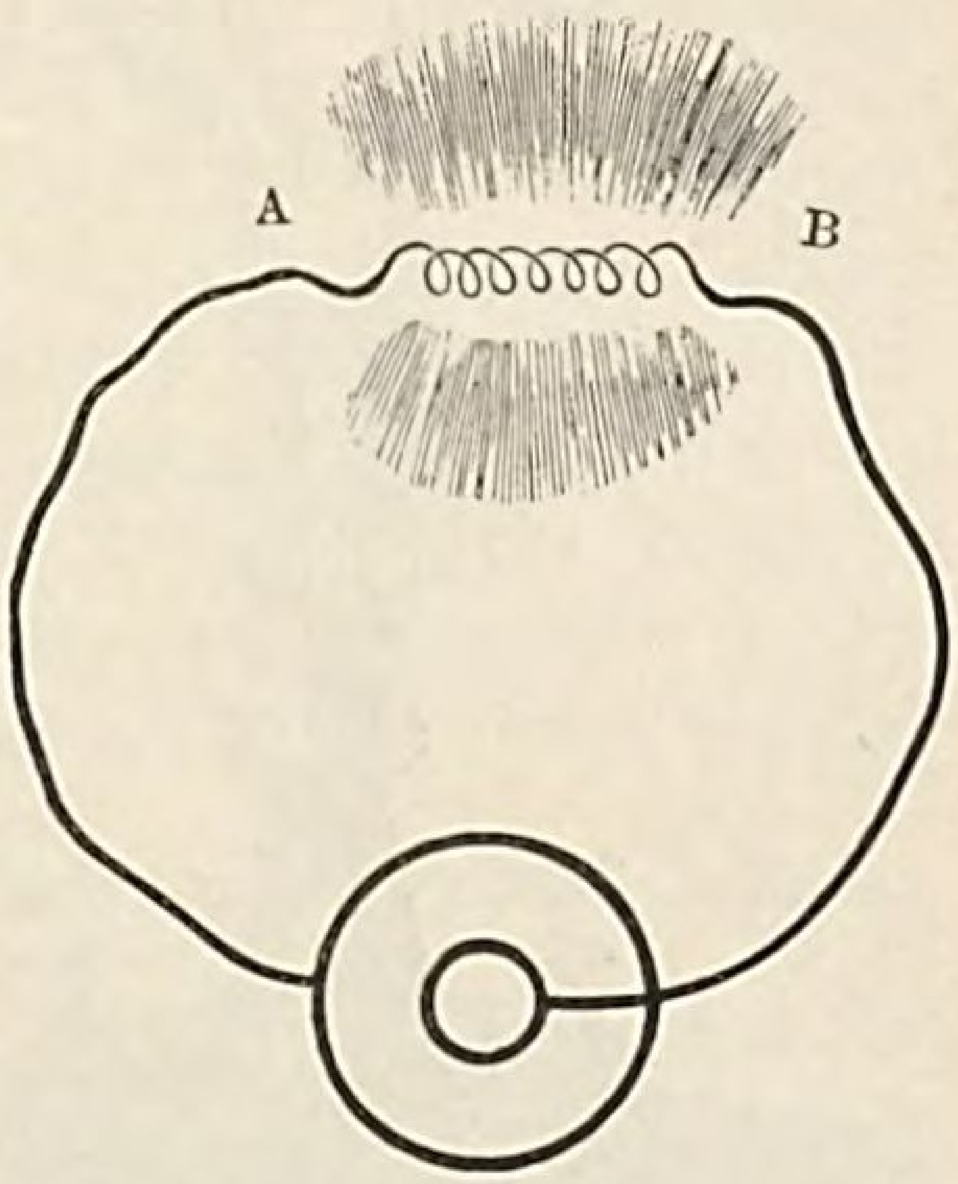
Von der Grösse der elektromotorischen Kraft der Säule ist die entwickelte Wärmemenge ganz unabhängig. Ob man ein Daniell'sches Element anwendet, oder eine Batterie von zehn hinter einander geschalteten, also mit 10mal so grosser elektromotorischer Kraft, so bleibt die in jedem Leiterstück entwickelte Wärmemenge doch dieselbe, vorausgesetzt, dass man (durch Einschalten von Widerständen) dafür sorgt, dass die Stärke des hindurchgehenden Stromes in beiden Fällen dieselbe bleibt.

Man muss sehr genau darauf achten, dass die Erwärmung in einem Stück eines Leiters ausser von der Stromstärke nur abhängt von dem Widerstand eben dieses Stückes allein. In einer einfachen Leitung, durch die ein Strom geht, herrscht, wie wir gesehen haben, zwar überall dieselbe Stromstärke. Die entwickelte Wärmemenge aber ist in allen gleich langen Theilen des Drahtes verschieden, sobald diese verschiedene Widerstände haben.

Die in dem ganzen Stromkreis zusammen entwickelte Wärmemenge ist natürlich die Summe aller Wärmemengen, die in den einzelnen Theilen desselben entwickelt werden. Es ist also auch die im gesammten Stromkreis entwickelte Wärme gleich dem Quadrat der im ganzen Strom herrschenden Stromintensität mal dem Widerstand des gesammten Stromkreises.

Die Wärme, die in jedem Stück des Schliessungskreises entwickelt wird, erhöht natürlich die Temperatur dieses Stückes. Ist der Strom stark genug und der Widerstand des Stückes gross genug, so kann diese Temperaturerhöhung eine so bedeutende sein, dass das Stück anfängt zu glühen, roth, gelb, weiss glüht und schliesslich sogar schmilzt. Je geringer die Masse eines Stückes ist, desto leichter wird seine Temperatur durch die Wärmemenge erhöht, da ja diese Wärmemenge sich nicht auf eine grosse Masse zu vertheilen braucht. Je dünner also ein Draht ist, desto leichter kann er zum Glühen kommen, besonders da ein sehr dünner Draht bei sonst gleichen Umständen dem Strom einen sehr grossen Widerstand entgegensetzt. Man kann also das Glühen eines Drahtes sehr leicht hervorbringen. Man verbindet z. B. drei Bunsen'sche Elemente hinter einander und schliesst ihre Pole durch einen beliebigen Draht, in welchem sich aber an einer Stelle ein nicht zu langes Stück eines sehr dünnen Drahtes, z. B. eines Platindrahtes, befindet (Fig. 87), der am besten schraubenförmig gewunden ist.

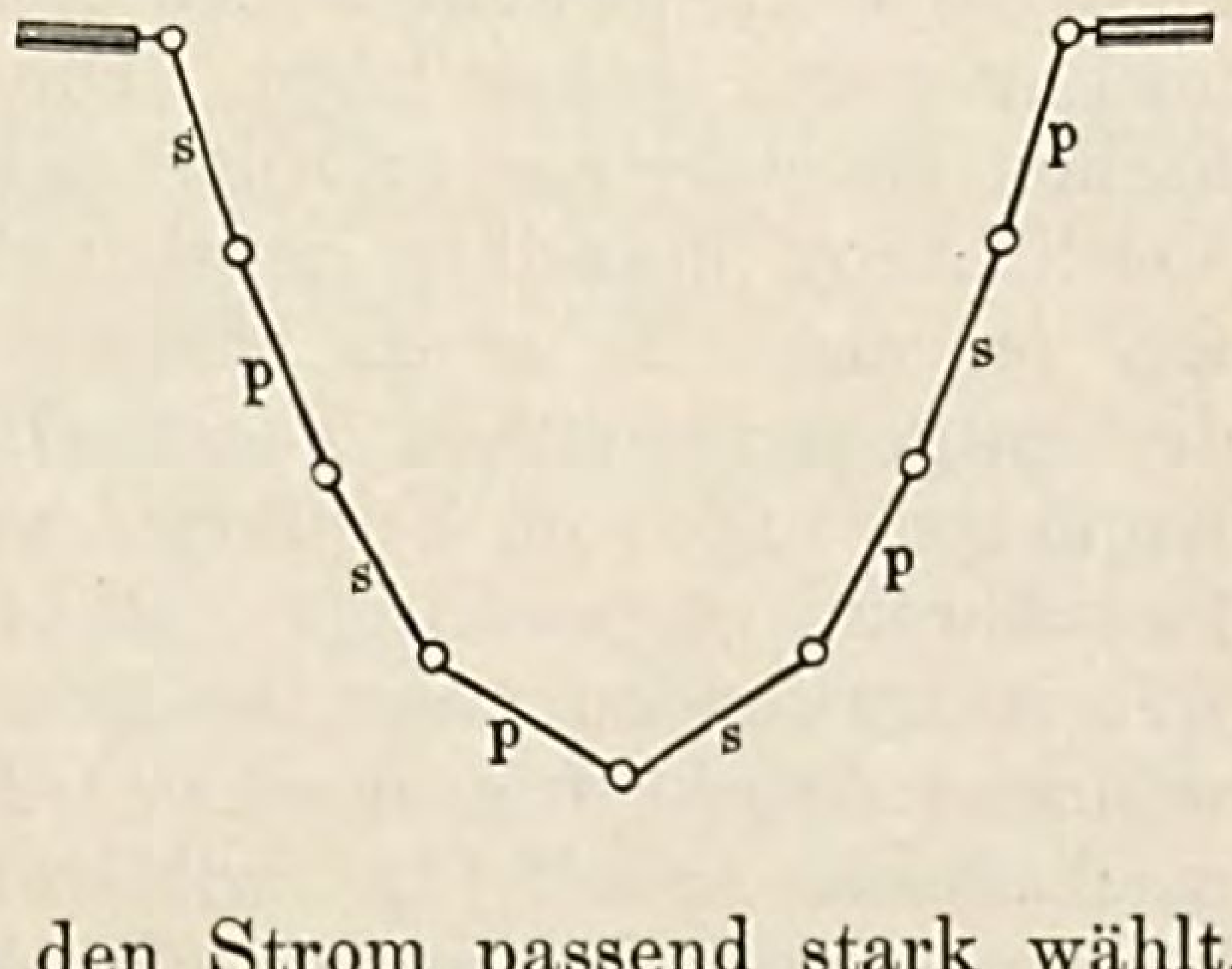
Fig. 87.



In den dicken Drähten ist die entwickelte Wärme nicht gross, und nicht ausreichend, um diese zum Glühen zu bringen. In dem dünnen Platindraht AB dagegen ist der Widerstand und folglich auch die entwickelte Wärme sehr gross, und da der Draht so dünn ist, so reicht diese Wärme aus, um den Draht zum hellen Weissglühen zu bringen.

Hat man einen sehr starken Strom, so kann auch ein meterlanges Stück eines Drahtes von der Dicke einer Stricknadel zum Glühen, ja sogar zum Schmelzen gebracht werden.

Fig. 88.



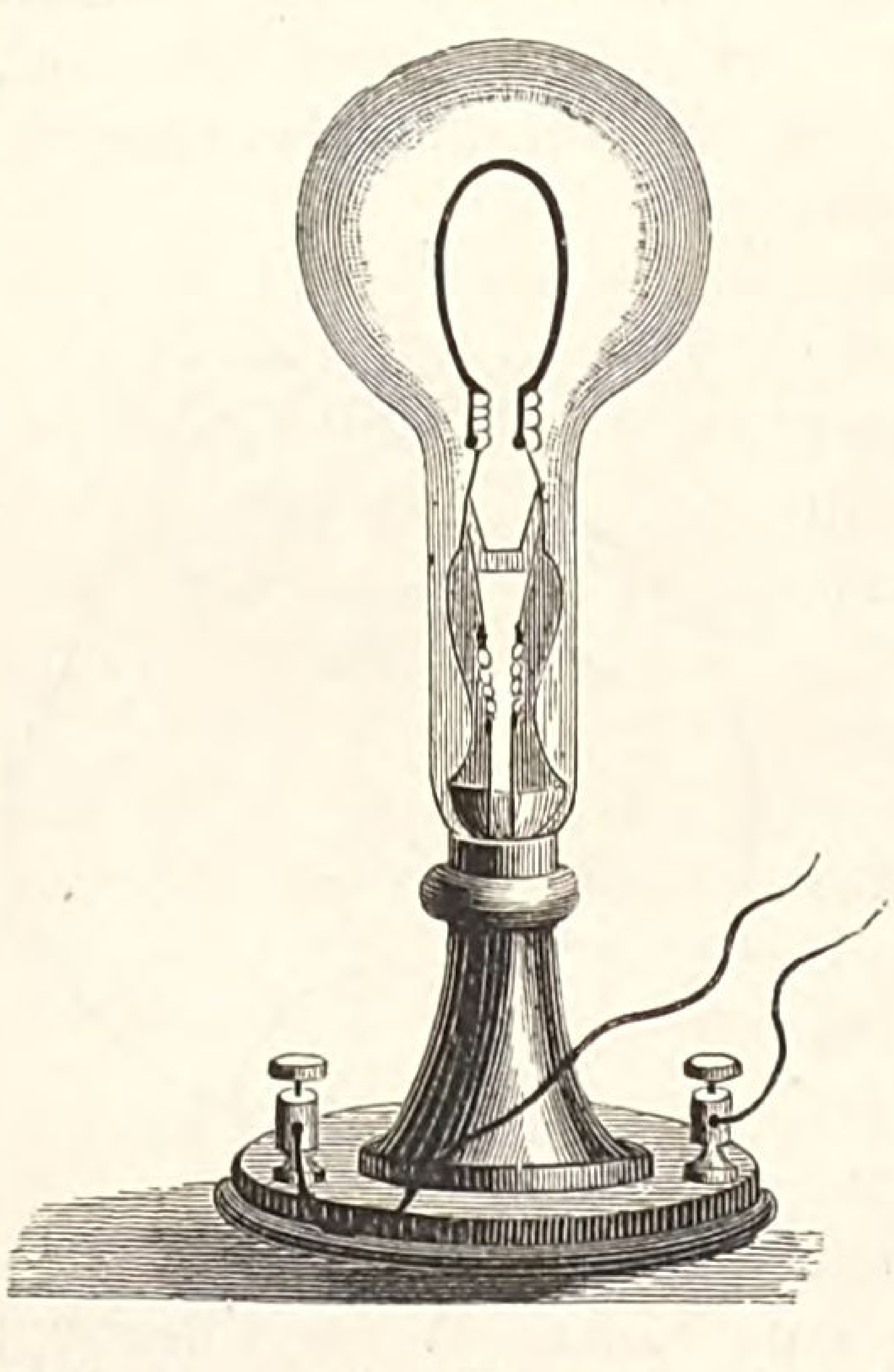
Wie wir oben auf S. 71 gesehen haben, ist der specifische Widerstand des Platins grösser als der des Silbers. Leitet man also den Strom durch eine Reihe von gleich langen und gleich dicken Platinstücken p und Silberstücken s, wie Fig. 88 zeigt, so ist der Widerstand jedes Platinstückes grösser als der jedes Silberstückes. Man kann also, wenn man den Strom passend stark wählt, bewirken, dass die Platindrähte alle ins Glühen kommen, die Silber-

drähte aber noch dunkel bleiben. Solche Versuche kann man in verschiedenen Variationen anstellen.

Diese Eigenschaft des galvanischen Stromes, dass er seinen Stromkreis erwärmt und einzelne Theile desselben sogar zum Glühen bringen kann, wird schon mehrfach benutzt. Man bedient sich dieser Eigenschaft in der Medicin, wo man darauf das galvanokaustische Verfahren gegründet hat, man bedient sich dieser Wirkung zur Entzündung von Sprengmaterialien, und endlich hat man in den letzten Jahren insbesondere durch Edison angefangen, diese Eigenschaft des elektrischen Stromes zum Beleuchten von Wohnungen zu benutzen.

Die Glühlichter, wie man die auf diesem Princip beruhenden Lampen nennt, bestehen im Wesentlichen nur aus einem dünnen Kohlenstreifchen, wie in Fig. 89 (wo es hufeisenförmig gebogen und in ein Glasgefäss eingeschlossen ist). Durch den Kohlendraht wird ein Strom (gewöhnlich von 0,8 Ampère) hindurchgesendet, und da das Kohlenstreifchen sehr grossen Widerstand hat, so kommt es durch den Strom in helles Glühen. In dem zweiten Theil dieses Werkes ist diese Anwendung specieller ausgeführt.

Fig. 89.



Die Gesetze der Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom wurden von Joule zuerst untersucht. Man nennt deshalb diese Wärme auch die Joule'sche Wärme, und das Gesetz, dass die entwickelte Wärmemenge gleich dem Quadrat der Stromstärke, multiplicirt mit dem Widerstand ist, das Joule'sche Gesetz.

Nach der grössten Errungenschaft, die die Physik in diesem Jahrhundert aufzuweisen hat, nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie, ist die Thatsache, dass der Strom seinen eigenen Stromkreis erwärmt, ist sogar das Joule'sche Gesetz eigentlich vorherzusehen gewesen. Das Gesetz der Erhaltung der Energie sagt aus, dass bei allen physikalischen Erscheinungen Energie weder gewonnen noch verloren gehen kann. Die Hervorbringung einer jeden physikalischen Erscheinung erfordert einen gewissen Aufwand von Arbeit, die Vernichtung derselben muss daher eine ebenso grosse Menge Arbeit frei machen. In einem elektrischen Strom gleichen sich fortwährend die entgegengesetzten Elektricitäten aus, welche vom Zinkpol zum Kupferpol und vom Kupferpol zum Zinkpol fliessen, sie vernichten sich fortwährend gegenseitig. Da man zur Erzeugung der Elektricität Arbeit aufwenden muss, so muss also die Vernichtung derselben fortwährend Arbeit frei machen. Leistet nun der Strom nicht wirklich mechanische Arbeit (und wir werden sehen, dass wir ihn dazu benutzen können, wirklich mechanische Arbeit zu leisten), so verwandelt sich die gesammte frei gewordene Arbeitsmenge in Wärme. Dies ist der

tiefere physikalische Grund dieser Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom. Wenn daher der galvanische Strom irgend eine andere Arbeit leistet, wenn er nicht blos in seinem Kreise ohne Arbeit fliesst, so muss auch die in dem Stromkreis entwickelte Wärmemenge eine kleinere werden. Wir werden diese Folgerung der Theorie bestätigt finden.

Wir hatten bei Anführung der über die Joule'sche Wärme ermittelten Thatsachen uns darauf beschränkt, anzunehmen, dass der galvanische Strom nur durch Leiter erster Klasse, durch Metalle oder Kohle fliesst. Der Grund dafür lag darin, dass bei dem Durchgang durch Flüssigkeiten der Strom gewöhnlich noch andere Arbeit zu leisten hat. Deswegen gelten dann die entwickelten Sätze für Flüssigkeiten im Allgemeinen nicht. Wenn aber der Strom durch eine Flüssigkeit hindurchfliesst, ohne dass er Arbeit bei ihnen zu leisten hat, dann folgt die Wärmeentwickelung auch bei diesen dem Joule'schen Gesetz.

Wir können aber auch das Joule'sche Gesetz direkt durch Ueberlegungen ableiten, die von dem Princip der Erhaltung der Energie ausgehen. Wenn eine bestimmte Elektricitätsmenge, z. B. 5 Coulomb, sich auf einem Körper befindet, auf dem das Potential eine bestimmte Grösse hat, z. B. 3 Volt, so wissen wir aus S. 34, dass die in diesem elektrischen Körper steckende Energie gleich ist 15 Volt $\times$ Coulomb, oder dass er 15 $\times$ 10 Millionen mechanische Arbeitseinheiten leisten kann. Als gewöhnliche Einheit der Arbeit benützt man praktisch das Kilogrammeter, das ist die Arbeit, welche man gegen die Erdanziehung leisten muss, um die Masse eines Kilogramms einen Meter hoch zu heben. Da ein Kilogrammeter (wie wir auf derselben Seite gesehen haben) gleich 9,81 $\times$ 10 Millionen Arbeitseinheiten ist, so kann unser obiger elektrischer Körper $\frac{15}{9{,}81}$ Kilogrammeter Arbeit leisten. Diese Arbeit muss aufgewendet werden, um die 5 Coulomb auf das Potential 3 Volt zu bringen, diese Arbeit wird auch wieder frei, wenn der Körper leitend mit der Erde verbunden wird, also wenn der Körper das Potential Null bekommt. Wird aber die Elektricität nicht auf das Potential Null gebracht, sondern auf ein anderes Potential, das geringer ist als 3 Volt, also z. B. auf 1 Volt, so ist die Arbeit, die dabei frei wird $\frac{5 \times (3-1)}{9{,}81} = \frac{10}{9{,}81}$ Kilogrammeter. Allgemein: Wenn eine bestimmte Anzahl Coulombs von einem höheren Potential zu einem niederen fällt und die Potentiale in Volts gemessen werden, so ist die dabei frei werdende (also nutzbar zu verwendende) Arbeit

$$= \frac{\text{Anzahl der Coulombs} \times \text{Differenz der Volts}}{9{,}81} \text{ Kilogrammeter.}$$

Wird umgekehrt dieselbe Elektricitätsmenge von dem niederen Potential auf das höhere gehoben, so muss man dieselbe Arbeit dazu aufwenden. In einem elektrischen Strome nun fliesst fortwährend die positive Elektricität von dem höheren Potential (z. B. auf dem Kupfer) nach dem niederen Potential (auf dem Zink) und die Differenz der Potentiale ist ja gerade die elektromotorische Kraft. Es wird also

dabei stets Arbeit frei. In jeder Sekunde fliesst so eine gewisse Menge Elektricität ab und die Anzahl der Coulombs, die in einer Sekunde abfliessen, haben wir ja als die Stärke des Stromes bezeichnet und sie in Ampères gemessen. Die Grösse der von irgend einer Maschinerie in jeder Sekunde zu leistenden Arbeit nennt man den Effekt dieser Maschinerie. Es hat also ein elektrischer Stromkreis einen gewissen Effekt, d. h. in jeder Sekunde wird eine Arbeit frei, deren Grösse ist

$$\frac{\text{elektromotorische Kraft in Volts} \times \text{Stromstärke in Ampères}}{9{,}81} \text{ Kilogrammeter.}$$

Die Grösse eines Effekts misst man gewöhnlich in Pferdekräften und versteht unter einer Pferdekraft denjenigen Effekt, bei welchem 75 Kilogrammeter Arbeit in jeder Sekunde geleistet werden können. Unser Stromkreis hat also einen elektrischen Effekt, dessen Grösse gleich ist

$$\frac{\text{elektromotorische Kraft in Volts} \times \text{Stromstärke in Ampères}}{9{,}81 \times 75} \text{ Pferdekräfte.}$$

Fliesst also ein Strom mit der Stromstärke 20 Ampère durch einen Kreis, in dem die elektromotorische Kraft 15 Volt ist, so ist der elektrische Effekt dieses Stromes

$$\frac{20 \times 15}{736} = \frac{300}{736} \text{ HP.}$$

HP ist das Abkürzungszeichen für Pferdekraft. In jeder Sekunde kann also unser Strom eine Arbeit von $\frac{300}{736} \times 75$ Kilogrammeter leisten. Selbstverständlich muss irgendwo im Stromkreise eine ebensolche Arbeit geleistet werden, um diese Arbeit frei zu machen, und wir werden sehen, dass diese Arbeit in den galvanischen Elementen durch die chemischen Kräfte geleistet wird.

Die gesammte in einem Stromkreis durch das Fliessen des Stromes in jeder Sekunde frei werdende Arbeit hängt also ab von dem Produkt aus der elektromotorischen Kraft des Stromes und der Stromstärke. Wenn nun diese Arbeit nicht wirklich dazu benutzt wird, um z. B. Maschinen in Gang zu setzen, so verwandelt sie sich ganz in Wärme und die gesammte in dem ganzen Stromkreis pro Sekunde erzeugte Wärmemenge ist also gleich der elektromotorischen Kraft des Stromes, multiplicirt mit der Stromstärke. Da nun aber nach dem Ohm'schen Gesetz

$$\text{elektromotorische Kraft} = \text{Stromstärke} \times \text{Gesammtwiderstand}$$

ist, so ist die gesammte im Stromkreis erzeugte Wärme gleich

$$\text{Quadrat der Stromstärke} \times \text{Gesammtwiderstand,}$$

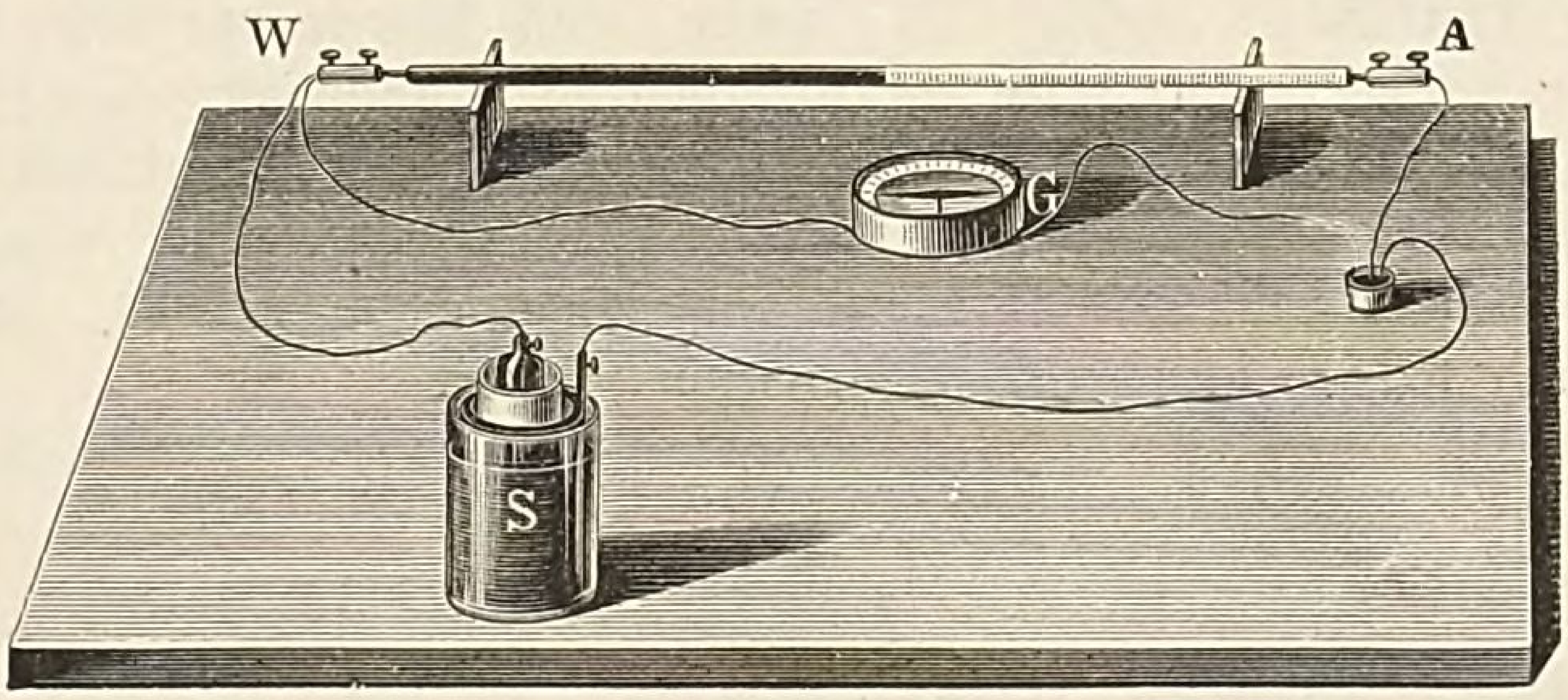
das Joule'sche Gesetz, das also aus dem Satz von der Erhaltung der Energie folgt. Das Joule'sche Gesetz gilt aber nicht blos für den gesammten Stromkreis und den Gesammtwiderstand, sondern auch für jeden Theil des Stromkreises und seinen Widerstand. Auch dieses lässt sich aus dem Satze von der Erhaltung der Energie vorhersagen, wenn man nur in unserer obigen Betrachtung statt der elektromotorischen Kraft des Elements die Potentialdifferenz an den Enden des betrachteten Leiterstücks einführt.

Die Joule'sche Wärme ist selbstverständlich immer dieselbe, mag nun der Strom in der einen Richtung durch die Leitung gehen oder in der anderen. Es ist deshalb auch, wenn man Drähte zum Glühen bringen will, ganz gleichgültig, in welcher Richtung man den Strom durch die Drähte sendet.

Aber der elektrische Strom zeigt in gewissen Fällen noch andere Wärmewirkungen als die erwähnte Joule'sche Wirkung.

Wenn man den Schliessungsdraht eines galvanischen Elementes so einrichtet, dass er nicht aus einem Metall besteht, sondern aus zwei verschiedenen an einander gelötheten oder sonst fest mit einander verbundenen Metallen, z. B. aus Kupfer und Eisen, so tritt an der Löthstelle noch eine andere Wärmewirkung auf. An der Löthstelle zeigt sich nämlich ausser der Joule'schen Wärme noch eine besondere Erwärmung oder Abkühlung, je nach der Richtung, in welcher der Strom durch die Löthstelle fliesst. Am kräftigsten zeigt sich diese Wirkung, wenn man den Strom durch einen Stab gehen lässt, der aus einem Wismuthstab und einem Antimonstab zusammengesetzt ist. In Fig. 90

Fig. 90.



ist S ein Daniell'sches Element und der Strom geht vom Zink durch den Stab WA, der bei W aus Wismuth, bei A aus Antimon besteht, und kommt dann von A zum Element zurück. Bei dieser Richtung des Stromes wird die Löthstelle der beiden Metalle abgekühlt, sie wird kälter als die Umgebung. Damit die Joule'sche Wärme, die ja immer vorhanden ist, diese abkühlende Wirkung möglichst wenig verdeckt, muss man die Stäbe ziemlich dick nehmen. Dadurch wird ihr Widerstand, also auch die Joule'sche Wärme klein. Wenn also der Strom vom Wismuth zum Antimon geht, wird die Löthstelle kälter. Lässt man umgekehrt den Strom (d. h. immer den positiven Strom) vom Antimon durch die Löthstelle zum Wismuth gehen, so wird die Löthstelle wärmer, als sie nach dem Joule'schen Gesetz werden sollte. Man nennt diese Wirkung des Stromes die Peltier'sche Wirkung und die positive oder negative Wärme die Peltier'sche Wärme. Die Peltier'sche Wärme ist in unserem Falle positiv, also eine wirkliche Erwärmung, wenn der Strom vom Antimon zum Wismuth geht; negativ, also eine Abkühlung, wenn der Strom vom Wismuth zum Antimon geht.

Diese abkühlende Wirkung des Stromes hat Lenz sehr deutlich durch einen Versuch gezeigt. Er machte in die Löthstelle zwischen einem Wismuth- und einem Antimonstab ein Loch, füllte Wasser hinein und befestigte darin ein Thermometer. Dann legte er den ganzen Stab auf schmelzenden Schnee, so dass er und das Wasser darin die Temperatur Null Grad hatten. Sowie er nun den positiven Strom eines Daniell'schen Elements vom Wismuth zum Antimon gehen liess, wurde die Löthstelle unter Null Grad abgekühlt, das Wasser kam allmählich zum Frieren und nach 5 Minuten war es vollständig gefroren und hatte eine Temperatur von 3,5 ^{0} C. unter Null.

Ganz so wie bei Wismuth und Antimon tritt immer bei je zwei zusammengelötheten Metallen die Peltier'sche Wärme auf, wenn ein Strom durch sie hindurchgesendet wird. In welcher Richtung der Strom fliessen muss, damit die Löthstelle abgekühlt wird, lässt sich natürlich nicht vorhersagen. Das hängt von der Natur der zusammengelötheten Metalle ab. Die Erfahrung hat nun gelehrt, dass immer, wenn Wismuth mit einem anderen Metall, Antimon, Eisen, Silber, Kupfer, Gold u. s. w. zusammengelöthet ist, die Löthstelle abgekühlt wird, wenn der positive Strom vom Wismuth zu dem anderen Metall durch die Löthstelle geht. Es lassen sich überhaupt alle Metalle in eine Reihe so ordnen, dass man aus der Reihenfolge sogleich sagen kann, in welcher Richtung der Strom durch die Combination zweier von ihnen fliessen muss, damit die Löthstelle abgekühlt wird. In der folgenden Reihe sind einige Metalle so zusammengestellt. Man nennt sie die thermoelektrische Spannungsreihe.

Die thermoelektrische Spannungsreihe:

Wismuth,
Quecksilber,
Platin,
Gold,
Kupfer,
Zinn,
Blei,
Zink,
Silber,
Eisen,
Antimon.

Wenn man z. B. einen Stab hat, der aus Eisen und Kupfer zusammengelöthet ist, und man will wissen, in welcher Richtung man den Strom hindurchsenden muss, damit die Löthstelle abgekühlt wird, so findet man aus obiger Reihe, dass man den positiven Strom vom Kupfer durch die Löthstelle zum Eisen senden muss. Denn Kupfer steht in der Reihe vor dem Eisen.

Schickt man den Strom in der entgegengesetzten Richtung hindurch, so wird die Löthstelle erwärmt.

Zwischen der Peltier'schen Wärme und der Joule'schen Wärme besteht also der Unterschied, dass die Joule'sche Wärme gleich gross bleibt, mag nun der Strom in der einen Richtung durch den Schliessungs-

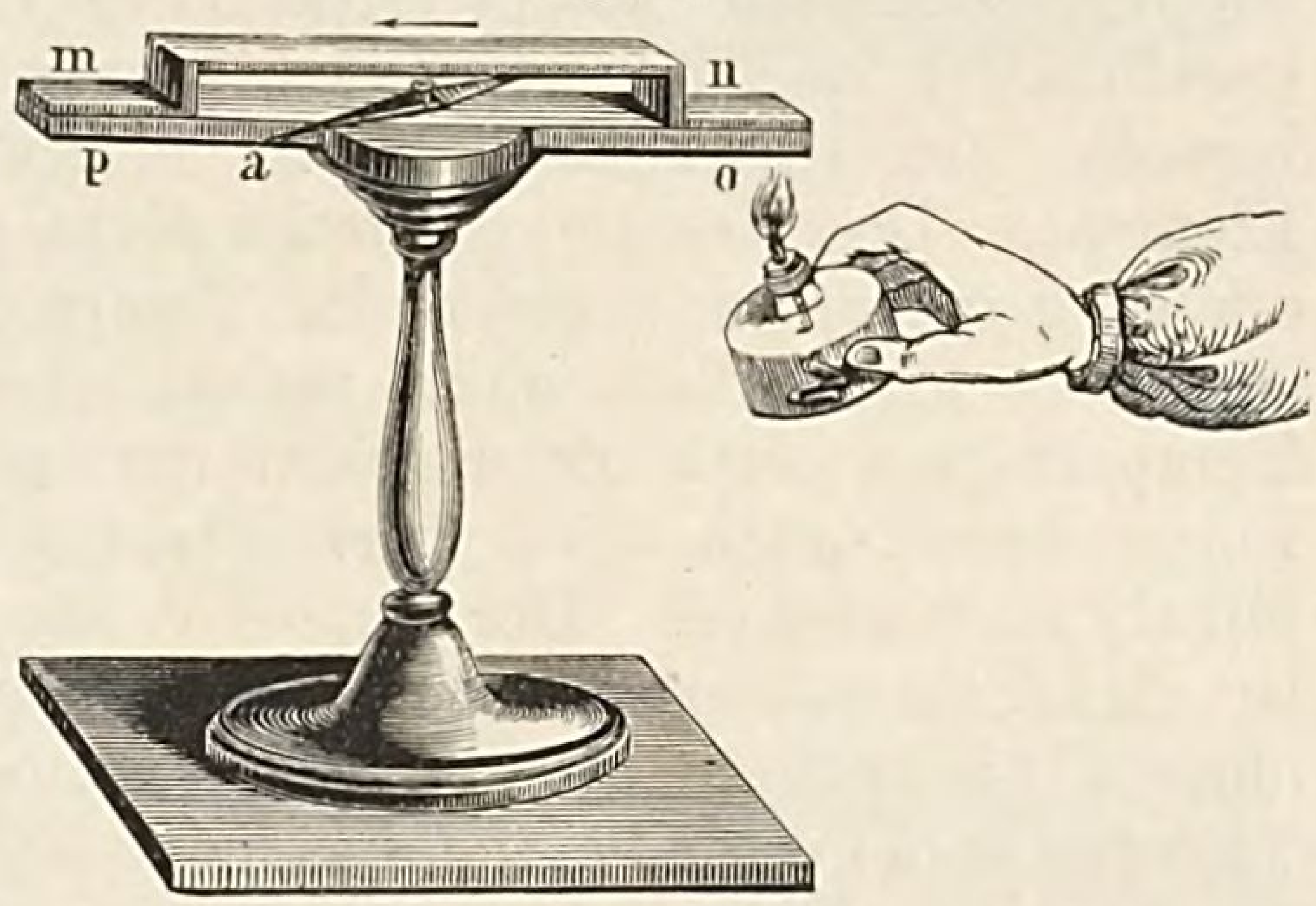
kreis hindurchfliessen oder in der anderen. Die Peltier'sche Wärme dagegen ist positiv, wenn der Strom in der einen, negativ, wenn er in der anderen Richtung fliesst.

Bei dieser Peltier'schen Wirkung des elektrischen Stromes stossen wir nun zum ersten Mal auf die Umkehrbarkeit von physikalischen Vorgängen.

Ebenso nämlich, wie ein elektrischer Strom an der Löthstelle zweier Metalle eine besondere Erwärmung oder Abkühlung hervorbringt, je nach seiner Richtung, ebenso bringt auch eine äussere Erwärmung oder Abkühlung der Löthstelle zweier zu einem geschlossenen Kreis verbundener Metalle einen elektrischen Strom hervor.

Man kann dies sehr leicht zeigen. In Fig. 91 ist o p ein Wismuthstreifen, an welchen ein Kupferbügel m n angelöthet ist (bei m und n). In dem Hohlraum zwischen beiden Metallen befindet sich eine drehbar aufgesetzte Magnetnadel. Sowie man nun die eine Löthstelle, etwa o n, erwärmt, entsteht ein elektrischer Strom, den man daraus erkennt, dass er die Magnetnadel ablenkt. Der Strom fliesst in dem ganz geschlossenen metallischen Kreise, und zwar hat der positive Strom die Richtung des Pfeiles von dem Wismuth durch die warme Löthstelle zum Kupfer und von diesem zurück. Ganz ebenso entsteht ein Strom, wenn man die eine Löthstelle, z. B. o n kälter macht als die andere, indem man sie z. B. mit Eis umgiebt. Nur fliesst dann der positive Strom vom Kupfer durch die kalte Löthstelle zum Wismuth. Man nennt diese Ströme Thermoströme oder auch thermoelektrische Ströme. Sie wurden von Seebeck im Jahre 1823 entdeckt. Wir haben also hier galvanische Ströme, welche nicht in galvanischen Elementen entstehen, welche also nicht durch chemische Processe erzeugt werden, sondern welche nur durch einfache Wirkung der Wärme hervorgebracht werden. Sowie man zwei verschiedene Metalle zu einem geschlossenen Kreis zusammenlöthet und die eine Löthstelle auf eine andere Temperatur bringt als die andere, so fliesst in diesem Kreis ein elektrischer Strom. Bei unserer Combination von Wismuth und Kupfer fliesst der positive Strom immer durch die wärmere Löthstelle vom Wismuth zum Kupfer, durch die kältere also vom Kupfer zum Wismuth. Bei allen anderen Combinationen von je zwei Metallen hat der Thermostrom ebenfalls eine Richtung, die von der Natur der beiden Metalle abhängt. Wenn man so alle Metalle der Reihe nach mit einander in thermoelektrische Verbindung bringt, so kann man sie ebenfalls wieder in eine Reihe so

Fig. 91.



ordnen, dass immer der positive Strom durch die erwärmte Löthstelle vom vorhergehenden zum folgenden Metall geht. Diese Reihe ist die schon vorhin angeführte thermoelektrische Spannungsreihe:

Wismuth, Quecksilber, Platin, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Silber, Eisen, Antimon.

Wismuth und Antimon stehen in der Reihe am weitesten aus einander. Sie geben also die stärksten Thermoströme.

Bei einem Thermostrom ist wie bei jedem anderen galvanischen Strom zu unterscheiden zwischen der elektromotorischen Kraft, der Stromstärke und dem Widerstand.

Die elektromotorische Kraft in einer solchen thermoelektrischen Combination hängt natürlich ab von der Art der beiden Metalle, welche in Verbindung gebracht sind, und sie hängt wesentlich ab von dem Temperaturunterschied der beiden Löthstellen. Je grösser der Unterschied der Temperaturen an den beiden Löthstellen ist, desto grösser ist die elektromotorische Kraft der Combination. Man nennt eine Combination, die aus zwei verschiedenen an einander gelötheten Metallen besteht, ein Thermoelement in Analogie mit einem galvanischen Element. Die elektromotorische Kraft eines Thermoelements ist also um so grösser, je grösser die Temperaturdifferenz seiner Löthstellen ist. Das gilt jedoch nicht bis zu allen Temperaturen. Bei höheren Temperaturen wird oft die Struktur eines Metalles eine andere und in Folge dessen auch seine thermoelektrische Differenz mit einem anderen Metall eine andere. Der innere Widerstand eines Thermoelements ist im Allgemeinen sehr klein, da das Element ja nur aus Metallen ohne Flüssigkeiten besteht. Man kann natürlich in den Kreis eines Thermoelements beliebige Widerstände einschalten, man kann den Strom eines Thermoelements durch alle möglichen Apparate gehen lassen.

Von der elektromotorischen Kraft des Thermoelements und von dem gesammten Widerstand des Stromkreises hängt die Intensität des elektrischen Stromes genau so ab, wie wir es früher bei galvanischen Elementen gefunden haben.

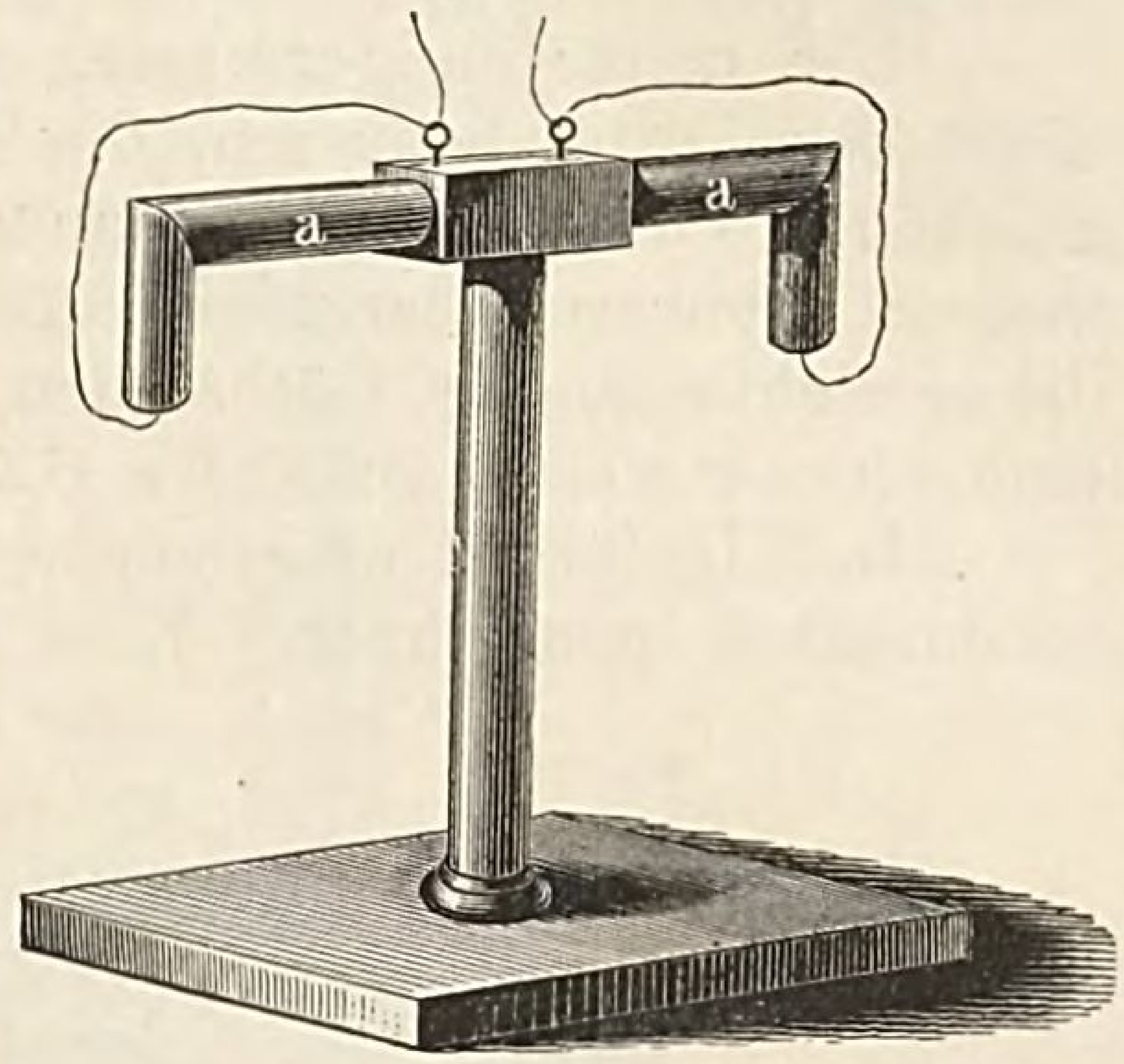
Es gilt das Ohm'sche Gesetz

$$\text{Intensität} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Widerstand}}.$$

Was nun die Grösse der elektromotorischen Kräfte von Thermoelementen betrifft, so bleibt diese nur dann constant, wenn man die beiden Löthstellen des Elements auf constanter, gleichbleibender Temperatur erhält. Zu dem Ende bringt man z. B. die eine Löthstelle in schmelzendes Eis, wo sie die Temperatur Null Grad bekommt, die andere in siedendes Wasser, wo sie die Temperatur 100 Grad bekommt. Sehr zweckmässig ist für diesen Zweck das Thermoelement Fig. 92 eingerichtet, das aus einem Wismuthstab aa mit herabgebogenen Enden besteht, an welche Kupferdrähte angelöthet sind. Diese beiden Kupferdrähte gehen durch zwei Oesen hindurch und ihre freien Enden werden dann durch beliebig lange oder kurze Leiter verbunden. Das eine herabgebogene Ende wird in ein Gefäss mit siedendem Wasser, das andere in eines mit

schmelzendem Eis getaucht, und die elektromotorische Kraft des Elements bleibt dadurch constant. Sie beträgt bei diesem Element nach Pouillet nur ungefähr $\frac{6}{1000}$ eines Daniells. Alle anderen Metallcombinationen geben ebenfalls elektromotorische Kräfte, die aber sämmtlich viel geringer sind, als die eines Daniells. Wenn man z. B. die elektromotorische Kraft zwischen reinem Silber und käuflichem Kupfer = 1 setzt (sie ist ungefähr = $\frac{2}{10000}$ Daniell bei einer Temperaturdifferenz von 100°), so sind die elektromotorischen Kräfte der folgenden Combinationen (natürlich bei gleichen Temperaturdifferenzen der Löthstellen) folgende:

Fig. 92.



Silber	— Wismuth	32,9
„	— Neusilber	5,2
„	— Quecksilber	2,5
„	— Blei	1,0
„	— reines Antimon	9,87
„	— Tellur	197
„	— Selen	290

Bei den vier ersten Metallen geht der positive Strom vom Silber zu dem anderen Metall, bei den drei letzten von dem anderen Metall zum Silber durch die erwärmte Löthstelle, wie man aus der Reihenfolge der Metalle in der thermoelektrischen Spannungsreihe sehen kann.

Die beiden Zahlen für Tellur und Selen sind sehr gross. Es haben Tellur und Selen keinen rein metallischen Charakter mehr. Noch viel stärkere thermoelektrische Kräfte erhält man, wenn man einige Schwefelmetalle unter einander oder mit Kupfer in thermoelektrische Berührung bringt. Nimmt man z. B. Kupferkies und löthet es mit Kupfer zusammen und bringt die eine Löthstelle auf 100 Grad, die andere auf Null Grad, so hat dieses Thermoelement eine elektromotorische Kraft von $\frac{1}{15}$ Daniell, bei einer Temperaturdifferenz von 150 Grad gar von $\frac{1}{10}$ Daniell. Ebenso hat z. B. das Thermoelement Kupferkies — Schwefelkies eine elektromotorische Kraft von $\frac{1}{6}$ Daniell.

Im Allgemeinen sind aber die elektromotorischen Kräfte von Thermoelementen sehr klein. Je grösser der Temperaturunterschied der Löthstellen ist, desto grösser wird die elektromotorische Kraft, so lange die Struktur der Metalle nicht selbst merklich geändert ist.

Bei hohen Temperaturen nimmt die elektromotorische Kraft nicht nur nicht zu, sondern sogar ab, so dass sie bei vielen Combinationen

sogar bei gewissen Temperaturen ganz verschwindet. Bei noch höheren Temperaturen tritt zwar wieder eine elektromotorische Kraft auf, aber der Strom fliesst dann durch das Thermoelement in umgekehrter Richtung als früher.

Um daher einigermassen starke Ströme zu bekommen, kann man nicht das Mittel benutzen, die Temperaturdifferenz möglichst gross zu machen. Vielmehr muss man ganz ebenso wie bei galvanischen Elementen mehrere Thermoelemente hinter einander verbinden und immer die gleichliegenden Löthstellen derselben erwärmen. Man erhält so eine thermoelektrische Säule oder Thermosäule.

In Fig. 93 ist eine solche Combination mehrerer Thermoelemente schematisch gezeichnet. Eine Reihe von Antimonstäben A sind an eine Reihe von Wismuthstäben W angelöthet, so dass immer ein Wismuthstab zwischen zwei Antimonstäben liegt. Wenn man nun die gleichliegenden Löthstellen erwärmt, so fliesst durch die warmen Löthstellen immer der Strom vom Wismuth zum Antimon und die Ströme von den einzelnen Löthstellen addiren sich, so dass die in der Figur schematisch dargestellte Combination eine dreifach so grosse elektromotorische Kraft hat als ein einzelnes solches Thermoelement. Die freien Enden dieser Säule werden natürlich durch einen beliebigen äusseren Schliessungsdraht verbunden. In Fig. 94 ist die Ansicht einer solchen Thermosäule gegeben, bei welcher eine grosse Menge von Antimon- und Wismuthstäben an einander gelöthet sind, so dass ihre gleich liegenden Löthstellen alle auf der einen Seite sich befinden und zugleich erwärmt oder abgekühlt werden. Die freien Enden des ersten und letzten Stabes gehen in die Klemmschrauben x und y aus und können dort durch einen Draht verbunden werden, durch den also dann der Strom von der Thermosäule fliesst.

Fig. 93.

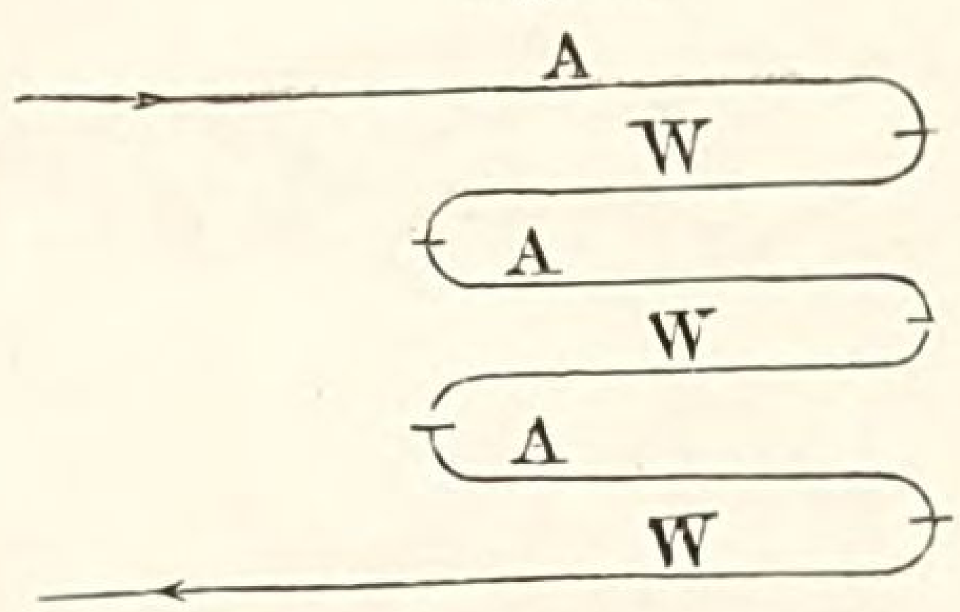
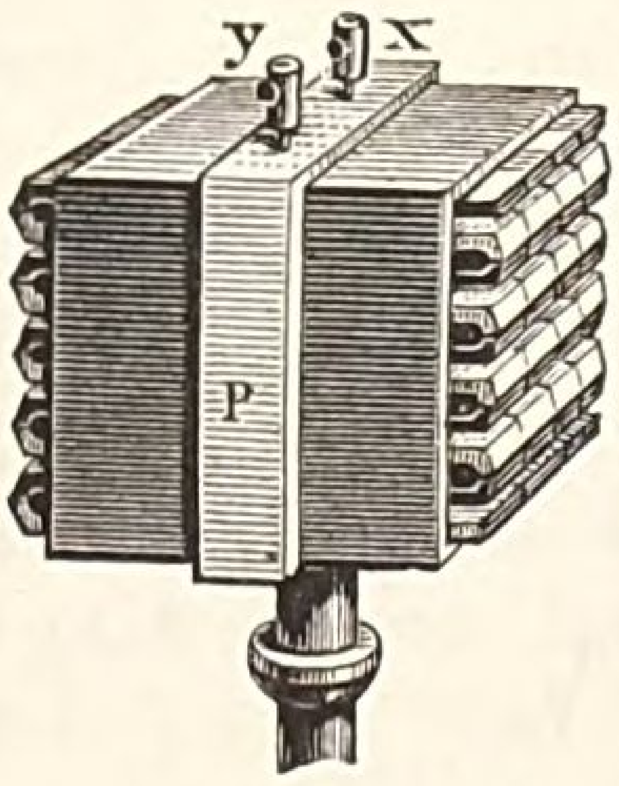


Fig. 94.

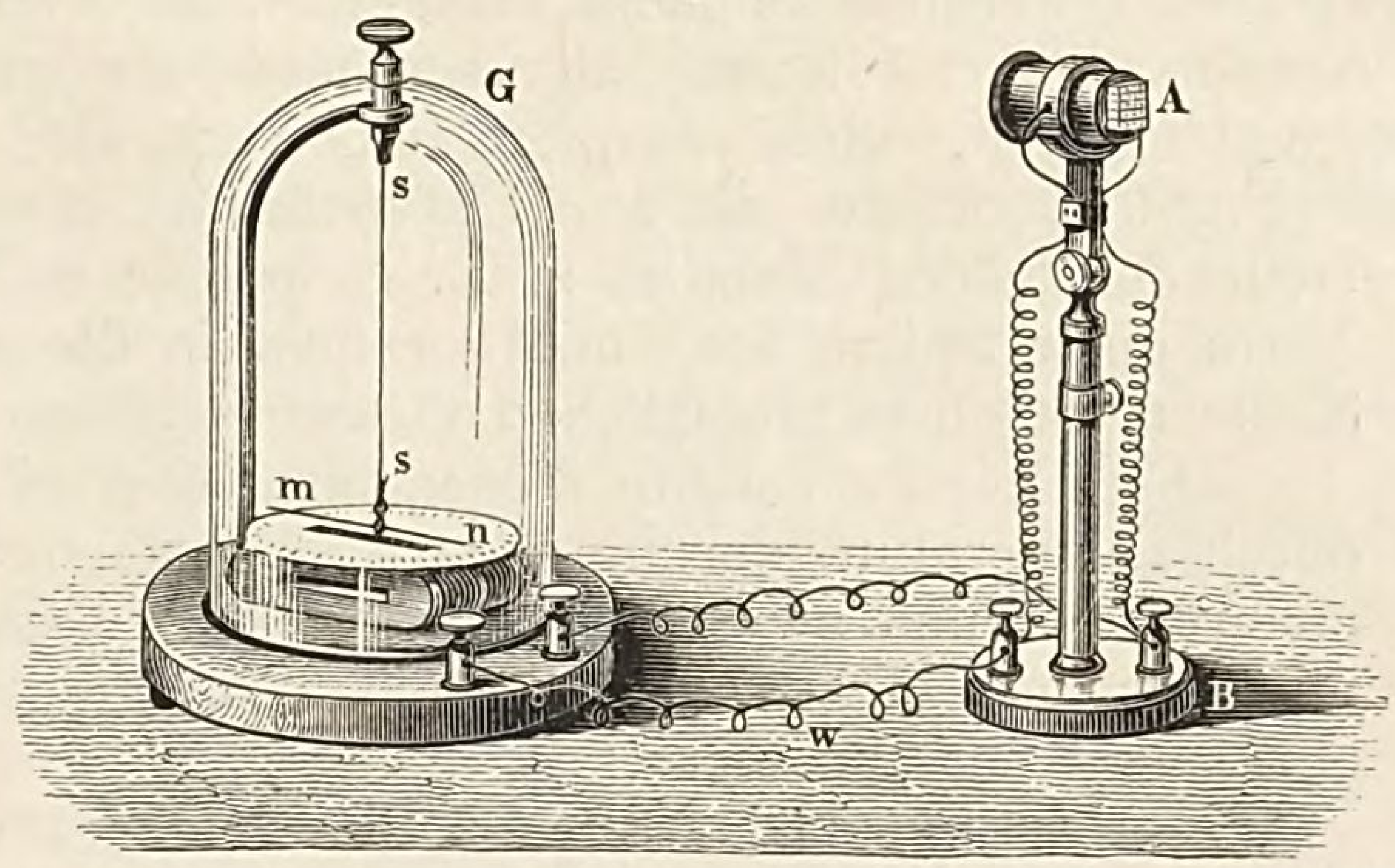


Bei geringen Temperaturdifferenzen ist die elektromotorische Kraft einer Thermosäule, wie oben erwähnt, diesem Unterschied der Temperaturen proportional. Hat man eine Thermosäule z. B. mit einem Galvanometer verbunden, so wird also immer, wenn die eine Seite der Thermosäule erwärmt oder erkältet wird, ein Strom durch die Windungen des Galvanometers gehen und die Nadel desselben ablenken. In Fig. 95 ist eine solche Thermosäule, wie sie gewöhnlich benutzt wird, gezeichnet. Bei A sind die Antimon- und Wismuthstäbchen zusammen gelöthet. Die eine Reihe von entsprechenden Löthstellen ist frei, damit man sie beliebig erwärmen und abkühlen kann. Die andere ist durch eine Messinghülse gedeckt. An die freien Enden der Thermosäule sind Drähte angelöthet, welche bei B in Klemmschrauben eingeschraubt sind, von welchen aus dann wieder Drähte zu dem Galvanometer G gehen, dessen Nadel die Ströme anzeigt. Man kann nun eine solche Verbindung sehr zweckmässig dazu be-

nutzen, um geringe Temperaturunterschiede anzuzeigen und auch zu messen.

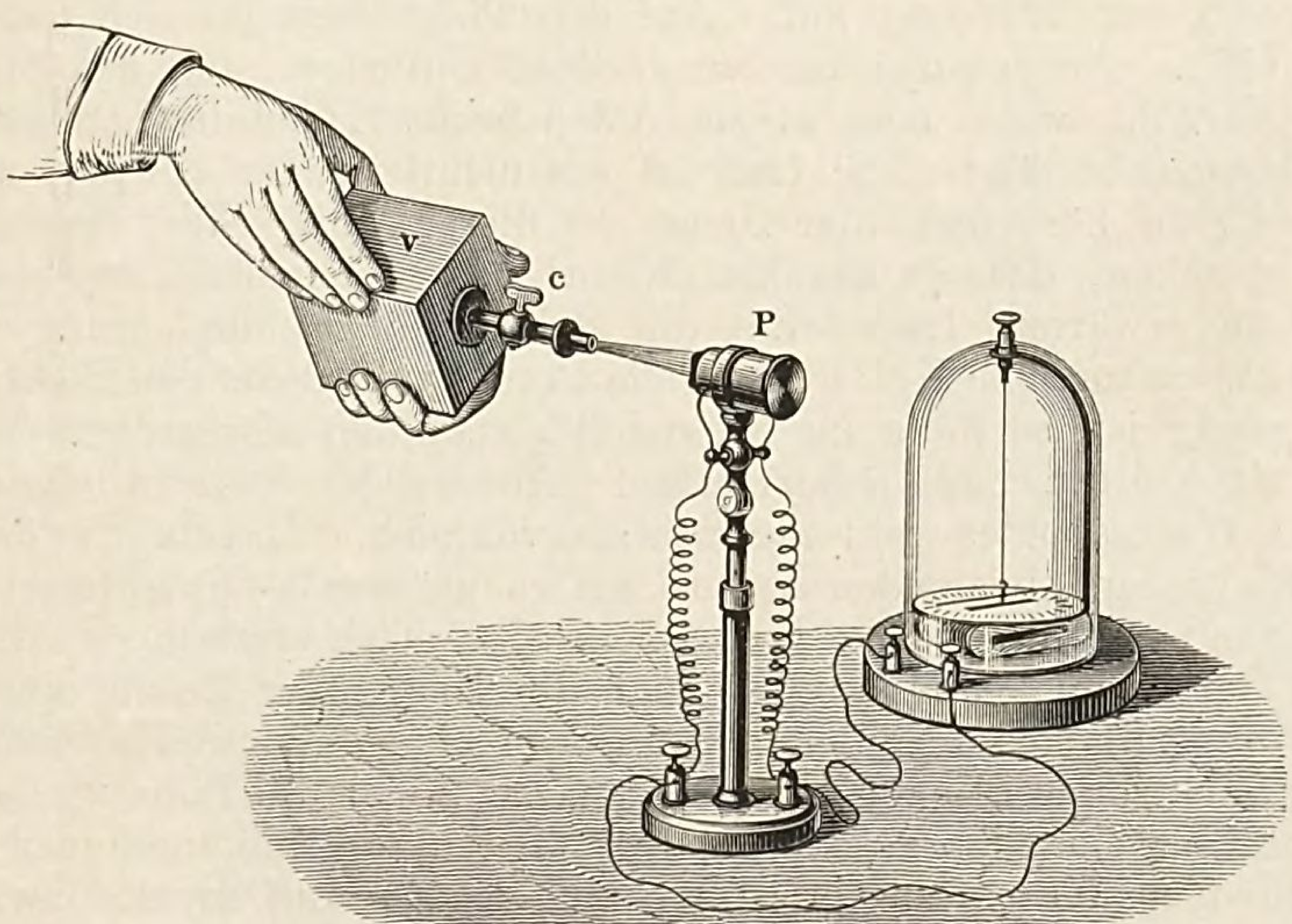
Die geringste Temperaturerniedrigung oder Erhöhung, welche die freie Seite der Thermosäule erleidet, erzeugt einen Strom, der die

Fig. 95.



Nadel des Galvanometers zum Ausschlag bringt. Wenn man z. B. aus einem Gefässe V (Fig. 96), das comprimirte Luft enthält, durch Oeffnung des Hahnes c die Luft ausströmen lässt, so wird die aus-

Fig. 96.

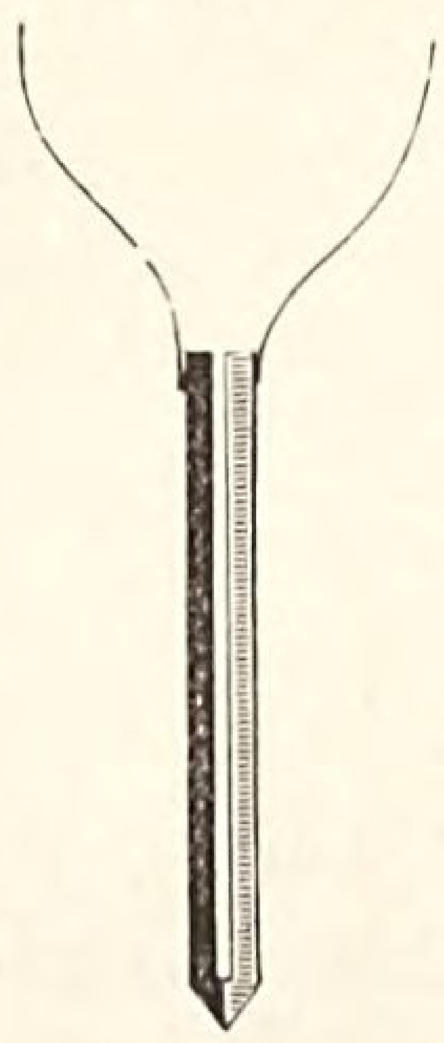


strömende Luft etwas kälter sein, als die umgebende. Lässt man nun den austretenden Luftstrahl gegen die freie Seite der Thermosäule P strömen, so wird diese erkältet, es entsteht ein Thermostrom nach einer bestimmten Richtung, und die Nadel des Galvanometers wird abgelenkt und zeigt dadurch die Abkühlung an. Ein gewöhnliches Thermo-

meter würde diese geringe Temperaturänderung gar nicht zu erkennen geben.

Es ist oft nicht bequem, eine solche Säule anzuwenden, bei der die wirksame Fläche eine immerhin grosse ist. Oft ist es wünschenswerth, die Temperatur an einem Punkte allein zu bestimmen und an diesen lässt sich die Thermosäule nicht bringen. Man wendet deshalb dazu oft ein einzelnes Thermoelement an, dem man eine zweckmässige Form dafür gegeben hat. Sehr bequem ist dazu die thermoelektrische Nadel (Fig. 97), bei der die zur Untersuchung dienende Löthstelle der beiden Metalle, z. B. Neusilber und Eisen, die Form einer Spitze hat, mit der man in die zu prüfende Stelle z. B. eines pflanzlichen Gewebes hineinsticht.

Fig. 97.



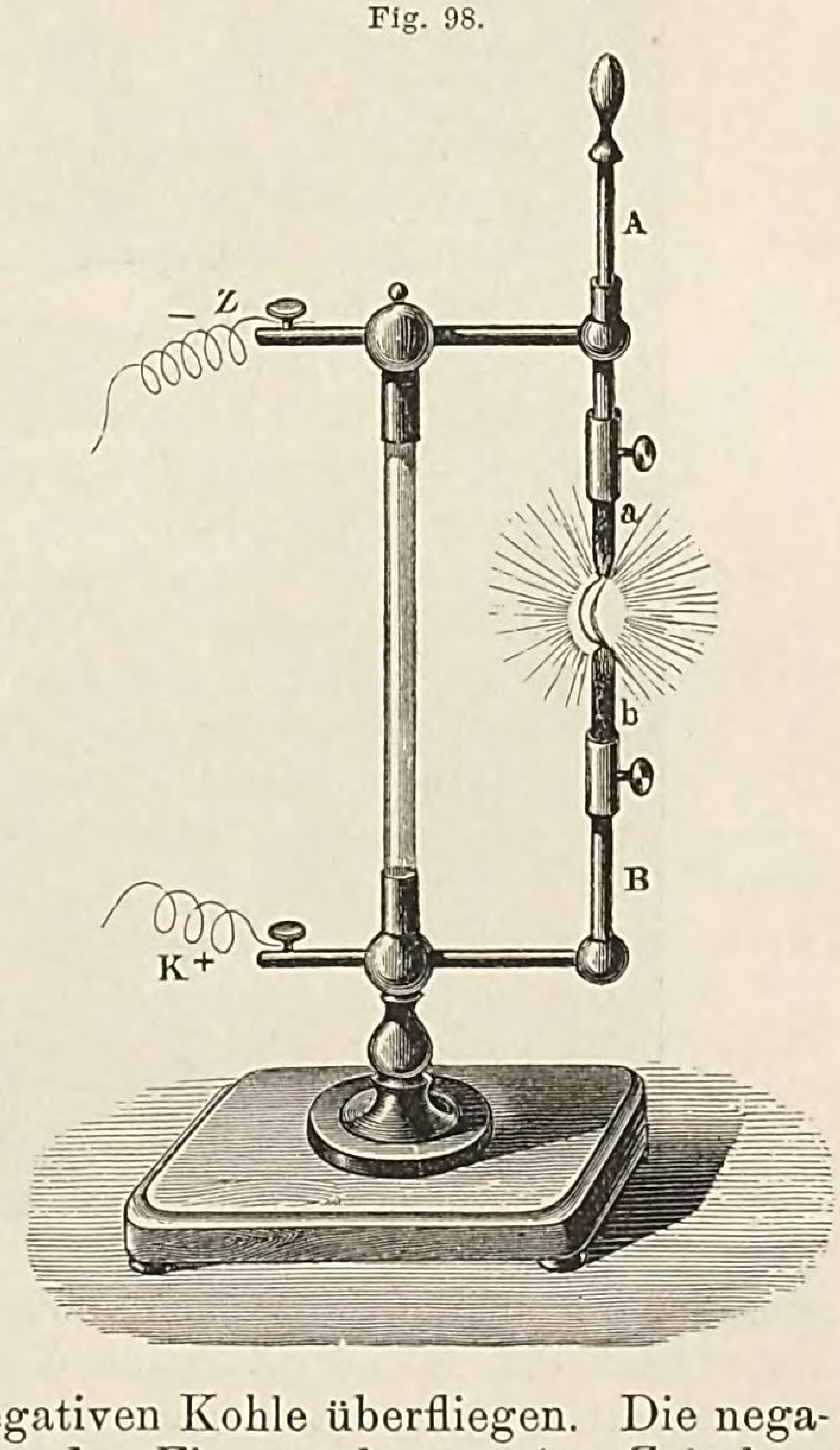
Die Thermoelemente dienen also einerseits dazu, um durch Temperaturänderung elektrische Ströme zu erzeugen, andererseits und zwar meistens werden sie dazu benutzt, um durch die elektrischen Ströme Temperaturänderungen anzuzeigen und zu messen.

Wir hatten bisher die Wirkungen des elektrischen Stromes in einem Stromkreis besprochen, der vollständig geschlossen ist und aus lauter leitenden festen Körpern besteht. Wenn man an irgend einer Stelle den Stromkreis unterbricht, indem man also an dieser Stelle zwischen die leitenden Körper einen nichtleitenden Stoff einfügt, so hört der Strom zu fliessen auf. Das Element ist dann offen. Es tritt gar keine Wirkung auf. Auf den Polen befindet sich nur freie Elektricität. Am einfachsten wird diese Unterbrechung des Stromes hervorgebracht, wenn man zwischen den freien Enden des Stromkreises eine Luftschicht lässt. Die Luft ist ein nichtleitender Körper, und in Folge dessen hört dann der Strom zu fliessen auf. Wir haben aber früher gesehen, dass es absolute Nichtleiter gar nicht giebt, und insbesondere erwärmte Luft leitet die Elektricität ziemlich gut. Wenn die elektromotorische Kraft, wenn die Potentialdifferenz der Elektricität gross genug ist, so kann die Elektricität auch den sehr grossen Widerstand einer Luftschicht überwinden. Aber diese Ueberwindung des grossen Widerstandes geht nicht leicht vor sich. Da die Erwärmung eines Widerstand leistenden Leiters um so grösser ist, je grösser dieser Widerstand ist, so wird die Luftschicht sehr stark erwärmt, so dass sie ins Glühen kommt und mit ihr auch die Enden der Leiter, zwischen denen die Luft sich befindet. Wenn man eine galvanische Säule von grosser elektromotorischer Kraft hat, z. B. 20 bis 30 Bunsen'sche Elemente hinter einander geschaltet, und man unterbricht an einer Stelle den leitenden Kreis, so dass sich eine kleine Luftstrecke zwischen den Unterbrechungsstellen befindet, so sieht man zwischen den beiden Drähten Funken übergehen. Der elektrische Strom fliesst also auch durch die trennende Luftschicht hindurch, bringt aber dabei zugleich eine Lichterscheinung hervor. Zugleich aber findet an den Uebergangsstellen vom leitenden Körper zur Luft ein grosser Widerstand statt, und daher kommen auch diese Enden der Leiter (die sogenannten Elektrodenenden) ins Leuchten und Glühen und brennen allmählich ab.

Ist die Substanz der Metalle leicht zertheilungsfähig, so werden von den Metallen Stücke abgerissen und fliegen leuchtend von der einen Elektrode zur anderen über.

So bildet sich bei leicht zertheilbaren Elektroden ein ganzer Lichtbogen, der aus leuchtender Luft und leuchtenden Elektrodentheilchen besteht. Sehr gut zeigen diese Erscheinungen Elektroden von Zink, von Eisen oder von Quecksilber. Am schönsten und glänzendsten wird aber diese Erscheinung, wenn man den Strom zwischen Kohlen durch Luft übergehen lässt. Dann kommen die Kohlenenden in helle weisse Gluth, und zwischen ihnen bildet sich ein wundervoller, glänzender Bogen, der aus leuchtender Luft und leuchtenden Kohlentheilchen besteht. Man nennt diese Erscheinung den Flammenbogen oder auch den Davy'schen Lichtbogen, da er von Davy zuerst beobachtet wurde. Eine Abbildung der zur Erzeugung desselben nöthigen Einrichtung giebt Fig. 98. Bei K und Z kommen die Leitungsdrähte von der galvanischen Batterie und gehen durch die metallenen Halter A und B zu den Kohlen a und b, die zuerst in Berührung mit einander sind, damit der Strom überhaupt fliessen und die Kohlen erwärmen kann und die dann in geringer Entfernung von einander gehalten werden und zwischen sich eine kleine Luftschicht haben. Ist nun die elektromotorische Kraft der Batterie gross genug, so geht zwischen den Kohlenenden der Strom über und bildet dabei den Flammenbogen, wie er in der Figur angedeutet ist.

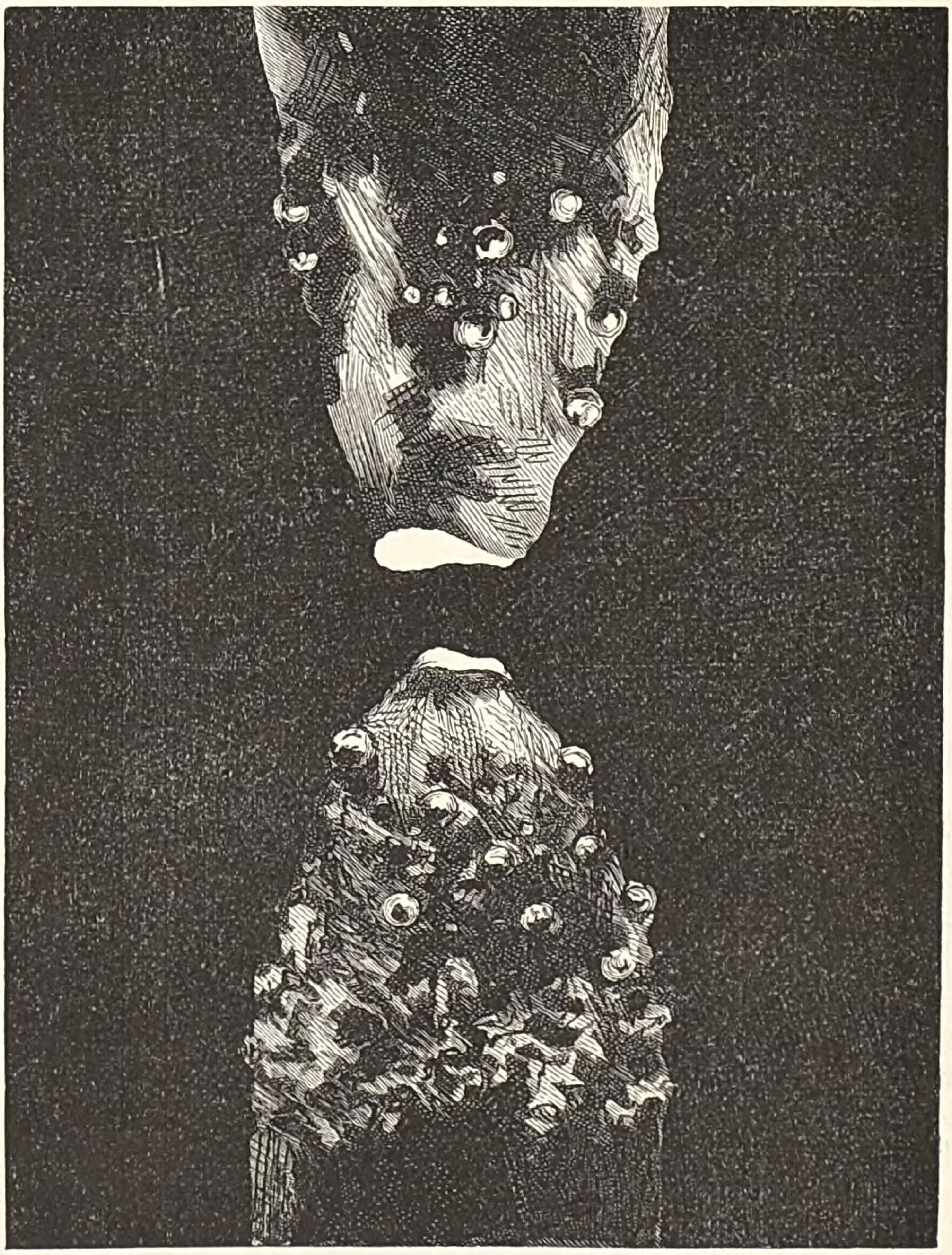
Fig. 98.



Von den Enden der Kohlen, insbesondere von demjenigen, welches mit dem positiven Pol der Elemente verbunden ist, fliegen die glühenden Theilchen zu den anderen über. Hat man die Kohlenenden zuerst beide zugespitzt, so ist nach kurzer Zeit die Spitze an der positiven Kohle verschwunden und es hat sich an ihrer Stelle ein Krater gebildet, von welchem aus die Theilchen zur negativen Kohle überfliegen. Die negative Kohle bleibt spitz. Nachdem der Flammenbogen eine Zeit lang bestanden hat, sehen die Enden der Kohlen so aus, wie es Fig. 99 auf folg. Seite in starker Vergrösserung zeigt. Die krümeligen Erhöhungen rühren von fremden Beimengungen her, die durch die Gluth schmelzen und sich auf der Oberfläche der Kohle absetzen. Die Temperatur der weissglühenden Kohlenenden ist eine sehr bedeutende,

zwischen 2500 und 4000 Grad Celsius. Die beiden Kohlen brennen natürlich durch die Hitze ab, und da von der positiven Kohle noch ausserdem eine Menge von Theilchen gegen die negative hingeschleudert werden, so wird die positive Kohle rascher kleiner als die negative. Die positive Kohle brennt erfahrungsgemäss etwa doppelt so rasch ab, als die negative. Durch das Abbrennen der Kohlen wird der Abstand

Fig. 99.



zwischen ihnen, die Luftschicht zwischen ihnen immer grösser und es muss bald ein solcher Zustand eintreten, dass der Widerstand der Luftschicht so gross wird, dass der Strom ihn nicht mehr überwinden kann. Dann hört der Strom zu fliessen auf, der Flammenbogen erlischt. Wenn man also den Flammenbogen lange erhalten will, so muss man die Kohlen einander immer in dem Masse nähern, wie sie abbrennen. Das kann man natürlich einige Zeit mechanisch mit der Hand machen. Um ihn aber dauernd zu erhalten, muss man dafür sorgen, dass die Kohlen von selbst einander sich nähern, während sie

abbrennen. Vorrichtungen zu diesem Zweck sind in mehr oder minder geistvoller Weise in grosser Anzahl ersonnen und im zweiten Theil dieses Werkes werden wir die hauptsächlichsten dieser Construktionen, die elektrischen Lampen oder Regulatoren, besprechen.

Das elektrische Licht übertrifft an Helligkeit alle anderen Lichtquellen, die wir auf Erden bis jetzt erzeugen können, ganz bedeutend. Es ist deshalb ganz ausserordentlich geeignet, um zur Beleuchtung von Städten, von Strassen und Plätzen zu dienen.

Der Flammenbogen kann nur entstehen, wie wir gesehen haben, wenn die elektromotorische Kraft der Batterie gross genug ist, um den Widerstand der Luft überwinden zu können. Man muss deshalb zur Erzeugung des elektrischen Lichts Elektricität aus Quellen von hoher elektromotorischer Kraft nehmen. Davy erzeugte das Licht zuerst, als er eine galvanische Säule anwendete, die aus 2000 Elementen hinter einander verbunden bestand. Allerdings konnte er dann den Flammenbogen so lange erhalten, bis die Kohlenenden auf 7 Centimeter Entfernung von einander abgebrannt waren. Je grösser der Flammenbogen ist, desto grösser ist natürlich auch die gesammte Helligkeit des Lichtes, die er ausstrahlt. Für gewöhnlich aber lässt man die beiden Enden höchstens 3—6 Millimeter aus einander stehen, weil im Verhältniss zu der Länge des Bogens die Lichtintensität dann eine viel grössere ist, wenn auch die Gesammthelligkeit geringer ist.

Ganz so, wie wir es früher bei der Peltier'schen Wirkung gesehen haben, erzeugt die Wirkung des elektrischen Stromes auch beim Flammenbogen eine Gegenwirkung. Es ist in dem Flammenbogen eine elektromotorische Gegenkraft vorhanden, welche der wirkenden elektromotorischen Kraft entgegenarbeitet. Man kann dies erkennen, wenn man in dem Moment, wo man den ursprünglichen Strom unterbricht, die Kohlenenden mit einem Galvanometer in Verbindung setzt. Man findet dann kräftige Ausschläge der Nadel desselben und diese zeigen an, dass in dem Flammenbogen noch eine elektromotorische Kraft wirksam ist. Aus der Richtung der Ausschläge erkennt man weiter, dass der durch diese Kraft erzeugte Strom in umgekehrter Richtung durch die Kohlen fliesst, als der ursprüngliche Strom. Diese Gegenkraft im galvanischen Lichtbogen, auf deren Vorhandensein Edlund aufmerksam machte, hat zwar noch keine ganz genügende wissenschaftliche Erklärung gefunden, ist auch noch nicht zur praktischen Verwendung gekommen, ist aber von Interesse, da sie ein zweites Beispiel dafür bietet, dass jede Wirkung, die der Strom hervorbringt, und die von der Richtung des Stromes abhängt, im Stande ist, selbst wieder einen Strom zu erzeugen. Das erste Beispiel dafür bot uns das Peltier'sche Phänomen, das zweite der galvanische Lichtbogen, bei welchem ja auch die positive Elektrode anders sich verhält, wie die negative. Bei allen folgenden Wirkungen des elektrischen Stromes werden wir dasselbe Verhalten finden.

5. Kapitel.

Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes. Elektrolyse. Polarisationsströme.

Vielseitiger als alle anderen Naturkräfte steht die Elektricität mit allen in Verbindung. Ebenso leicht wie der elektrische Strom Licht und Wärmewirkungen hervorbringt, ebenso leicht bringt er auch chemische Wirkungen hervor, Wirkungen, die sowohl für die wissenschaftliche Untersuchung der Elektricität, als für die praktische Benutzung derselben von der grössten Wichtigkeit geworden sind.

Der elektrische Strom fliesst dauernd nur durch eine ganz geschlossene Kette von Leitern. Die Leiter des elektrischen Stromes aber sind, wie wir gesehen haben, von zweierlei Art, Leiter erster und zweiter Klasse. Zu der ersten Klasse gehören alle Metalle, Kohle, Selen und eine Reihe von anderen nicht direkt metallischen Körpern. Zu den Leitern zweiter Klasse gehören alle zusammengesetzten Flüssigkeiten, die den Strom überhaupt leiten. Wenn nun der elektrische Strom durch eine solche leitende zusammengesetzte Flüssigkeit hindurchgeht, so verursacht er immer eine chemische Zersetzung dieser Flüssigkeit, eine chemische Zersetzung, die nach ganz bestimmten Gesetzen vor sich geht. Man nennt die Leiter zweiter Klasse deshalb auch gewöhnlich Elektrolyte, weil sie durch Elektricität zersetzt werden. Den Vorgang der Zerzetzung nennt man Elektrolyse. Wir haben schon früher das Wort Elektroden oft benutzt, um die Enden der stromzuführenden Leiter zu bezeichnen. Grade bei der Elektrolyse wurde diese Bezeichnung zuerst von Faraday eingeführt. Will man den elektrischen Strom von einer galvanischen Säule aus durch eine Flüssigkeit gehen lassen, so muss man in diese Flüssigkeit Platten oder Drähte aus Metallen eintauchen, von denen das eine mit dem positiven, das andere mit dem negativen Pol der Säule in Verbindung ist. Diese Drähte oder Platten nennt man speciell die Elektroden.

Wenn man nun zwei Elektroden von verschiedenen Metallen in eine Flüssigkeit eintauchen würde, um durch diese den Strom von einer galvanischen Säule durch die Flüssigkeit zu senden, so würde schon von vornherein in der Flüssigkeit eine neue elektromotorische Kraft entstehen, da ja zwei verschiedene Metalle in einer Flüssigkeit

immer ein galvanisches Element bilden. Man taucht deshalb zwei Elektroden von gleichem Metall, z. B. zwei Platinelektroden in die Flüssigkeit, um Elektrolyse hervorzurufen. Dann wird die Flüssigkeit stets in ihre Bestandtheile zerlegt, es findet stets eine Zersetzung der Flüssigkeit statt. Aber diese Zersetzung geht scheinbar nicht überall in der ganzen Flüssigkeit vor sich, sondern nur an den Elektroden selbst. Taucht man z. B. zwei Platinplatten in Wasser und schickt den Strom von 2—3 Bunsen'schen Elementen hindurch, so sieht man an der positiven und an der negativen Platinplatte Gase aufsteigen, und zwar an der positiven Sauerstoff, an der negativen Wasserstoff. Es ist grade dieser Vorgang im Wasser kein ganz einfacher, wir werden ihn daher erst nachher ausführlicher besprechen.

Es ist nämlich von vornherein einzusehen, dass wenn eine Flüssigkeit in ihre Bestandtheile zerlegt wird, diese Bestandtheile, wenn sie überhaupt die Fähigkeit dazu haben, wieder chemisch auf die Flüssigkeit oder auf die Elektroden wirken können. Man erhält deshalb sehr häufig bei der Elektrolyse nicht die wirklichen Produkte der Zersetzung, sondern diejenigen Produkte, die durch die Einwirkung der entstehenden Bestandtheile auf die Flüssigkeit oder die Elektroden entstehen. Die elektrolytisch abgeschiedenen Bestandtheile gehen, wie man sagt, sekundäre Processe ein. Schickt man z. B. den Strom zwischen Platinelektroden durch eine Lösung von Chlorblei (einem Salz) in Wasser, so sollte an der positiven Elektrode freies Chlor, an der negativen Blei entstehen. Das Blei scheidet sich auch wirklich ab, aber das freie Chlor verbindet sich sofort mit der Platinelektrode zu Platinchlorid; man sieht also deshalb kein Chlor aufsteigen. Macht man aber z. B. die Elektroden hier aus Kohle, so geht die Elektrolyse ohne diese sekundären Wirkungen vor sich. Dann schneidet sich an der negativen Elektrode Blei, an der positiven freies, gasförmiges Chlor ab.

Leitende Flüssigkeiten sind im Allgemeinen die Säuren wie Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure und die Lösungen von Salzen in Wasser oder Alkohol. Grade diese Lösungen von Salzen sind für die Elektrolyse von besonderer Wichtigkeit geworden, und wir werden sie daher hauptsächlich besprechen. Ein jedes Salz, z. B. schwefelsaures Kupfer, enthält als einen Bestandtheil ein Metall, hier Kupfer, der andere Bestandtheil ist eine Säure oder Sauerstoff oder Chlor oder ein anderer Stoff, hier ist er Schwefelsäure. Lässt man nun eine Salzlösung elektrolysiren, so scheidet sich immer das Metall an der negativen Elektrode ab, der Rest des Salzes geht an die positive Elektrode. Also in unserem obigen Beispiel, wo Chlorblei zersetzt wurde, scheidet sich das Blei an der negativen Elektrode ab. Ebenso, wenn man Kupfervitriol zersetzt, tritt das reine metallische Kupfer an der negativen Elektrode auf, bei Zinkvitriol scheidet sich das Zink, bei salpetersaurem Silber das Silber, bei Goldchlorid das Gold in reinem metallischen Zustand an der negativen Elektrode ab. Man erkennt schon daraus die Wichtigkeit dieser Wirkung des elektrischen Stromes; denn es ist ja dadurch möglich, Metalle aus ihren Salzen in reinem Zustand auszuscheiden, ein Process, der auf andere

Weise nur durch grosse Hülfsmittel, wenn überhaupt, durchzuführen ist. Der andere Bestandtheil des Salzes scheidet sich also an der positiven Elektrode ab und da dieser Bestandtheil gewöhnlich eine Säure ist, so tritt er fast immer in chemische Verbindung mit dem Elektrodenmetall oder mit der Flüssigkeit. Wenn z. B. Zinkvitriol zwischen Kupferelektroden elektrolysirt wird, so tritt an der negativen Elektrode Zink auf, an der positiven Elektrode verbindet sich das entstehende Schwefelsäureradikal sofort mit dem Kupfer der Elektrode zu schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol) und es bildet sich also an der positiven Elektrode Kupfervitriol durch einen sekundären Process. Ein anderes Beispiel: Wenn man eine concentrirte Lösung von Zinnchlorür ($SnCl_2$) zersetzt, so entsteht an der negativen Elektrode Zinn, an der positiven würde freies Chlor auftreten. Dieses wirkt aber sofort auf das gelöste Salz selbst, auf das Zinnchlorür, und verwandelt dieses in Zinnchlorid, so dass an der positiven Elektrode kein freies Chlor auftritt, sondern Zinnchlorid.

Es kann also der an der positiven Elektrode abgeschiedene Bestandtheil eine grosse Menge von sekundären Processen eingehen.

Ebenso kann aber auch das Metall, das an der negativen Elektrode auftritt, sofort wieder in chemische Verbindung mit den anderen vorhandenen Stoffen treten, wenn es überhaupt eine energische chemische Aktionsfähigkeit hat.

So sind namentlich die Alkalimetalle, Kalium und Natrium chemisch sehr wirksam und daher treten bei ihnen oft sekundäre Processe auf. Lässt man z. B. eine Lösung von schwefelsaurem Natron zwischen Platinelektroden zersetzen, so scheidet sich an der negativen Elektrode das Metall, Natrium, ab, dieses zersetzt aber sofort das Wasser der Lösung in Sauerstoff und Wasserstoff. Der Sauerstoff verbindet sich mit dem Natrium in Wasser zu Natronlauge, der Wasserstoff wird frei und tritt an der negativen Elektrode in Form von Blasen auf. Auch an der positiven Elektrode treten hierbei sekundäre Processe auf. Das dort sich abscheidende Schwefelsäureradikal verbindet sich sofort mit dem Wasserstoff des Lösungswassers zu Schwefelsäure und der andere Bestandtheil des Wassers, Sauerstoff, wird frei und tritt in Form von Blasen an der positiven Elektrode auf. Es sollte sich also bei der Elektrolyse von schwefelsaurem Natron (SO_4Na_2) an der negativen Elektrode Natrium, an der positiven SO_4 bilden. In Wirklichkeit bildet sich aber durch sekundäre Processe an der negativen Wasserstoff, an der positiven Sauerstoff. Grade solche sekundäre Processe waren es, welche bei der ersten Entdeckung der Elektrolyse einen grossen Irrthum erzeugten. Leitet man nämlich einen elektrischen Strom mittelst Platinplatten durch ein Gefäss mit gewöhnlichem Wasser, so entwickelt sich an der negativen Elektrode Wasserstoff, an der positiven Sauerstoff. Man glaubte deshalb, dass das Wasser durch den Strom direkt in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt würde. Spätere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass das nicht der Fall ist. Ganz reines Wasser, welches von allen Spuren von aufgelösten Salzen befreit ist, leitet den elektrischen Strom gar nicht, ist ein vollkommener Isolator. Wenn das Wasser einiger-

massen gut leitet, wie es bei den erwähnten Versuchen über Elektrolyse des Wassers der Fall war, so enthält es immer eine Menge von Salzen in mehr oder minder grossen Quantitäten aufgelöst, namentlich von Natron- und Kalisalzen. Durch den Strom werden diese Salze zersetzt und die Metalle an der negativen Elektrode zersetzen das Wasser, verbinden sich mit dem Sauerstoff und lassen den Wasserstoff frei werden und sich entwickeln. Der Rest der Salze verbindet sich an der positiven Elektrode mit dem Wasserstoff des Wassers und lässt Sauerstoff frei werden. So treten bei dem Durchgang des Stromes durch (nicht absolut reines) Wasser, allerdings Wasserstoff und Sauerstoff, die Bestandtheile des Wassers, auf, aber nicht durch direkte Elektrolyse, sondern durch sekundäre Processe. Dasselbe geschieht, wenn man Wasser mit irgend einer Säure, z. B. Schwefelsäure, ein wenig ansäuert. Dann wird von der Schwefelsäure (SO_4H_2) an der negativen Elektrode Wasserstoff frei, an der positiven Elektrode verbindet sich der Rest SO_4 mit dem Wasserstoff des Wassers, und der Sauerstoff desselben wird frei. Die Ansäuerung des Wassers bei der Elektrolyse gewährt den Vortheil, dass dadurch das Wasser besser leitend gemacht wird.

Woher kommt es nun aber, dass bei der Elektrolyse die freien Bestandtheile immer nur an den Elektroden auftreten? Wenn der Strom auf die Flüssigkeit zersetzend wirkt, so muss er doch das in der ganzen Ausdehnung der Flüssigkeit thun, durch welche er geht, und nicht blos an den Elektroden, an den Eintritts- und Austrittsstellen. Man hat diese Erscheinung nach dem Vorgang von Grotthus auf folgende Weise zu erklären gesucht. In jedem zusammengesetzten Salz soll nach Grotthus der eine Bestandtheil positiv elektrisch, der andere negativ elektrisch sein, also z. B. in Chlornatrium das Chlor negativ, das Metall positiv. Ueberhaupt soll in allen Metallsalzen das Metall positiv elektrisch sein, der Rest der chemischen Verbindung soll negativ sein. Im Allgemeinen liegt nun immer ein positiver elektrischer Bestandtheil mit einem negativen zusammen und die Moleküle liegen beliebig in der Flüssigkeit, ohne bestimmte Ordnung. Sowie nun aber zwei Elektroden, eine positiv und eine negativ elektrische in die Flüssigkeit tauchen, so geht von diesen eine Influenzwirkung auf die Moleküle aus. Die negative Elektrode influenzirt positive Elektricität, die positive negative Elektricität und durch die Anziehung der ungleichnamigen und die Abstossung der gleichnamigen Elektricitäten ordnen sich nun z. B. die Chlornatrium-(Kochsalz-)Moleküle in folgende Reihe:

−	+ − + − + − + −	+
Negative Elektrode	Na Cl Na Cl Na Cl Na Cl	Positive Elektrode.
	+ − + − + − + −	
−	Na Cl Na Cl Na Cl Na Cl	+

Die negative Elektrode zieht nun die ihr zunächst liegenden positiven Atome Natrium (Na) an, und reisst sie aus der Verbindung mit ihren Chloratomen (Cl) heraus. Ebenso zieht die positive Elektrode die negativen Chloratome aus ihrer Verbindung mit dem Natrium heraus und zieht sie an sich. Die freien Atome in der Flüssigkeit verbinden

sich dann wieder zu Chlornatrium, so dass dadurch erklärt ist, wie so die zersetzten Bestandtheile nur an den beiden Elektroden auftreten.

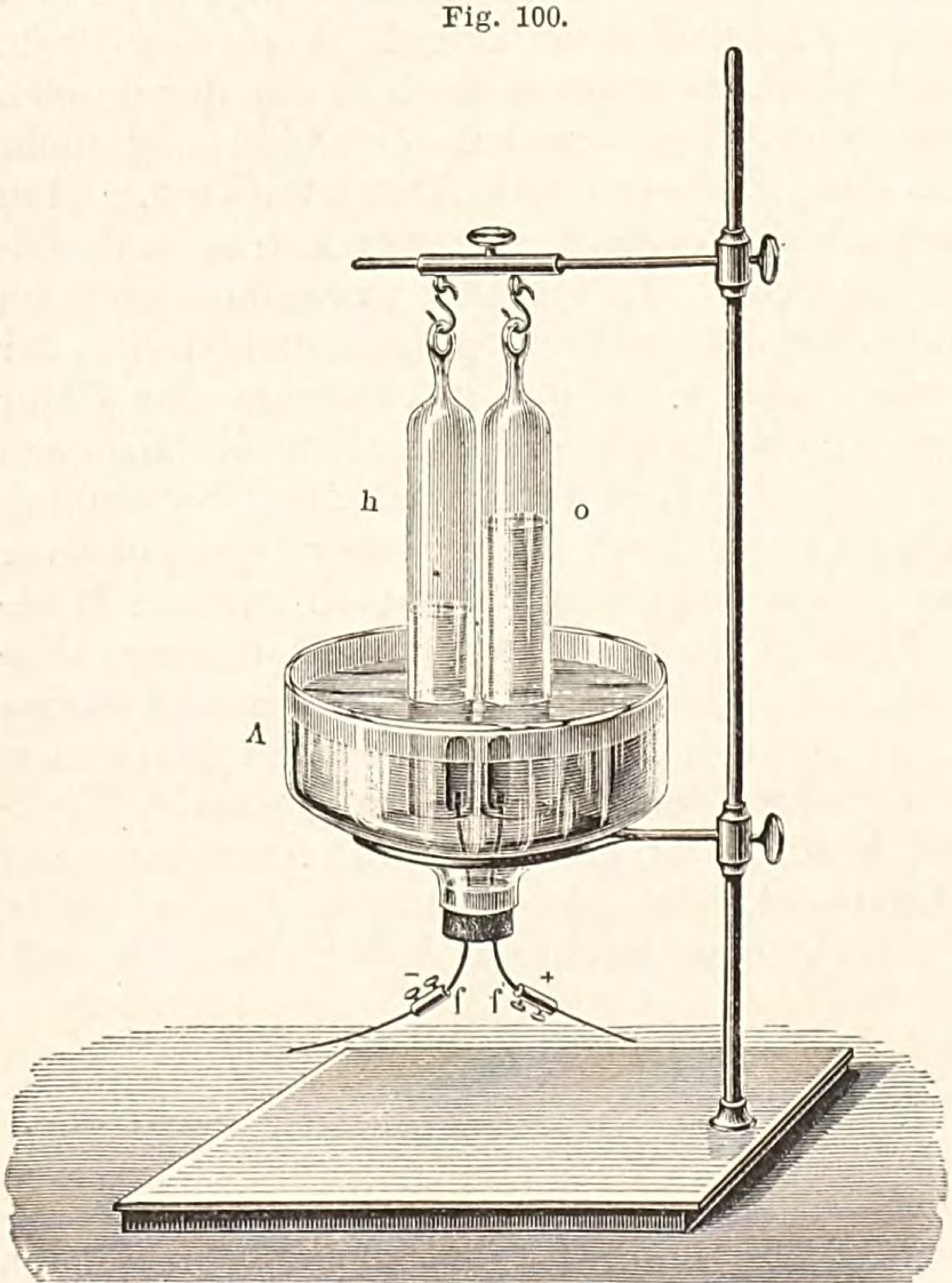
In einem Bilde wird also der Vorgang folgender sein:

	−	+ − + − + − + − + −	+	
Negative		Na Cl Na Cl Na Cl Na Cl Na Cl		Positive
Elektrode		+ − + − + − + − + −		Elektrode.
	−	Na Cl Na Cl Na Cl Na Cl Na Cl	+	

Durch diese Theorie kann man sich also erklären, warum bei der Elektrolyse die Elektrolyte nur an den Elektroden auftreten, und nicht auch in der Mitte der Flüssigkeit.

Es lässt indess diese Theorie einige feinere Vorgänge bei der Elektrolyse unerklärt, und sie ist deshalb auch in neuerer Zeit durch eine andere von Clausius ersetzt worden. Auch diese Theorie beruht auf der Annahme, dass die Bestandtheile, aus denen eine Flüssigkeit besteht, elektrisch positiv und negativ sind. Nur nimmt sie nicht an, dass faktisch die Moleküle durch die Wirkung des Stromes erst zersetzt werden, sondern sie behauptet vielmehr, dass in jeder zusammengesetzten Flüssigkeit auch die Bestandtheile, die Atome, einzeln vorhanden sind, und dass insbesondere diese einzelnen, freien, in der Flüssigkeit vorhandenen Atome durch den Strom die einen zur positiven, die anderen zur negativen Elektrode gezogen werden.

Fig. 100.



Wie dem auch sei, jedenfalls ist Thatsache, dass der Strom zusammengesetzte leitende Flüssigkeiten zerlegt, und dass die Bestandtheile nur an den Elektroden auftreten.

Aus etwas angesäuertem Wasser erhält man, wie erwähnt wurde, durch die Elektrolyse vermittelst sekundärer Processe Wasserstoff und Sauerstoff, die beiden Bestandtheile des Wassers. Man kann diese beiden Gase, wenn sie sich entwickeln, getrennt auffangen, indem man jede Elektrode einzeln in ein oben geschlossenes, mit Wasser gefülltes Gefäss bringt. Einen solchen Apparat zeigt Fig. 100. Die beiden Glasröhren o und h werden mit Wasser gefüllt und tauchen in die Schüssel A ein, welche

ebenfalls mit Wasser gefüllt ist, so dass das Wasser in den beiden Röhren durch das in A befindliche Wasser in Verbindung steht. In jede der beiden Röhren taucht nun eine Elektrode von Platin ein, welche durch einen Kork, der die Schüssel A unten verschliesst, hindurchgesteckt ist. Bei f und f′ sind Klemmschrauben, in welche die Drähte vom Element eingeklemmt werden. Sowie nun der Strom in die Elektroden kommt und durch das Wasser hindurchgeht, entwickelt sich an der einen Elektrode (in h) Wassertoff, an der anderen (in o) Sauerstoff. Diese Gase steigen in den Röhren in die Höhe und drücken das Wasser allmählich aus diesen heraus.

Wenn man diesen Versuch anstellt, so sieht man sofort, dass von dem Wasserstoff in derselben Zeit doppelt so viel (dem Volumen nach) aufsteigt, als vom Sauerstoff. Die Röhre o ist immer nur halb so weit mit Gas gefüllt als die Röhre h. Das müsste natürlich der Fall sein, wenn der Strom direkt das Wasser zersetzen würde. Denn da 16 Gramm Sauerstoff ebenso viel Raum einnehmen, wie 1 Gramm Wasserstoff (bei gleichem Druck und gleicher Temperatur), in jedem Wassermolekül aber 16 Gewichtstheile Sauerstoff und 2 Gewichtstheile Wasserstoff vorhanden sind, so muss der abgeschiedene Wasserstoff ein doppelt so grosses Volumen einnehmen, wenn das Wasser wirklich direkt durch den Strom in seine Bestandtheile zerlegt wird. Der Vorgang im Wasser ist aber ein sekundärer Process, und die Thatsache, dass doch genau so viel Wasserstoff und Sauerstoff entsteht, wie bei direkter Zersetzung, diese Thatsache wird erst verständlich durch ein allgemeines Gesetz, das von Faraday aufgefunden und ausgesprochen wurde.

Es ist bekannt, dass die Chemie für jeden Stoff eine gewisse Zahl, das Atomgewicht, gefunden hat, welche in Verbindung mit der chemischen Formel einer Verbindung sofort anzeigt, wie viel Gewichtstheile von jedem der constituirenden Stoffe in einer Verbindung vorhanden sind.

Wenn z. B. die Chemie für Chlor (Cl) das Atomgewicht 35,5 und für Silber (Ag) das Atomgewicht 108 angiebt, und wenn sie die Formel für Chlorsilber $Ag\,Cl$ schreibt, so heisst das: 35,5 Gewichtstheile Chlor verbinden sich mit 108 Gewichtstheilen Silber zu 143,5 Gewichtstheilen Chlorsilber.

Oder wenn Schwefel (S) das Atomgewicht 32, Sauerstoff (O) das Atomgewicht 16, Kupfer (Cu) das Atomgewicht 63,5 hat, und wenn die Formel für Kupfervitriol geschrieben wird

$$SO_4\,Cu$$

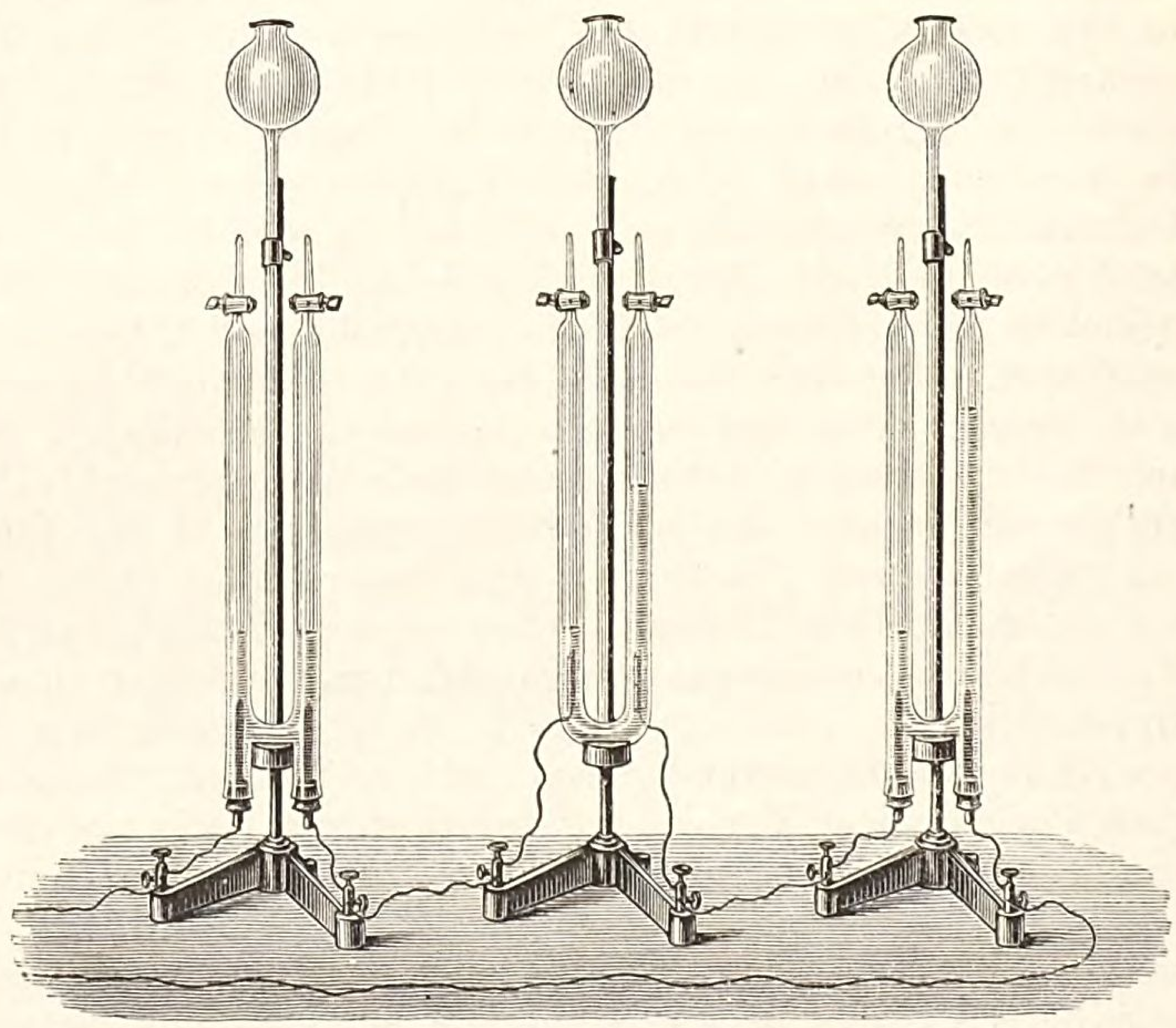
so heisst das, dass 32 Gewichtstheile Schwefel mit 64 Gewichtstheilen Sauerstoff und 63,5 Gewichtstheilen Kupfer sich zu 159,5 Gewichtstheilen Kupfervitriol verbinden.

Bei jeder elektrolytischen Zersetzung treten nun an den Elektroden die Bestandtheile grade in dem Gewichtsverhältniss auf, in dem sie in der zersetzten Verbindung stehen. Wird z. B. Zinkchlorid elektrolysirt, dessen Formel ist $Zn\,Cl_2$, so treten, da das Atomgewicht des Zinks 65,2 das des Chlors 35,5 ist, an der negativen Elektrode immer 65,2 Gewichtstheile Zink auf, während an der positiven 70 Gewichtstheile Chlor entstehen.

Gehen die abgeschiedenen Elektrolyten sekundäre chemische Processe mit den Elektroden oder der Flüssigkeit ein, so verbindet sich jeder Elektrolyt immer mit so viel Gewichtstheilen der Elektrode oder der Flüssigkeit, als ihm chemisch äquivalent sind.

Wenn also z. B. schwefelsaures Natron Na_2SO_4 durch den Strom zerlegt wird, so dass an der negativen Elektrode Na_2 (2×23 Gewichtstheile) entstehen, so zersetzt dieses Natrium die ihm äquivalente Menge von Wasser nun zu $2(NaOH)$ und scheidet aus dem Wasser H_2 ab, also grade so viel Wasserstoff als dem abgeschiedenen Natrium chemisch äquivalent ist.

Fig. 101.



I II III

Mit anderen Worten: Wenn Elektrolyse stattfindet, so werden die Bestandtheile einer Flüssigkeit immer in chemisch äquivalenten Mengen abgeschieden, und wenn etwa sekundäre chemische Processe stattfinden, so gehen diese auch in chemisch äquivalenten Mengen vor sich.

Wie verhalten sich aber die abgeschiedenen Mengen der Elektrolyte, wenn man einen Strom der Reihe nach durch verschiedene zersetzbare Flüssigkeiten gehen lässt?

Die Antwort auf diese Frage hat Faraday durch eine grosse Reihe von Versuchen gegeben. Diese Antwort lautet: Durch denselben Strom werden in allen elektrolysirten Flüssigkeiten in derselben Zeit die Bestandtheile in demjenigen Mengenverhältniss abgeschieden, welches ihrer chemischen Aequivalenz entspricht.

Ein Beispiel wird dieses Gesetz klar machen. Wenn man einen und denselben Strom der Reihe nach durch drei Gefässe mit Flüssig-

keiten leitet, so dass er zu gleicher Zeit in den drei Gefässen (die man Zersetzungszellen nennt) die Flüssigkeiten elektrolysirt, so müssen die abgeschiedenen Mengen der Elektrolyte im Verhältniss ihrer Aequivalentgewichte stehen. Die Fig. 101 giebt eine passende Anordnung für diesen Versuch, wenn die abgeschiedenen Mengen gasförmig sind. In jedes der drei Gefässe tauchen Kohlenstücke als Elektroden, und der Strom geht hinter einander von dem ersten zum zweiten, von diesem zum dritten Gefäss. In das erste Gefäss wird Salzsäure gebracht (Cl H), in das zweite angesäuertes Wasser (H_2O), in das dritte Ammoniaklösung (H_3N). Dann muss im ersten Gefäss bei der Elektrolyse das gleiche Volumen Wasserstoff an der negativen wie Chlorgas an der positiven Elektrode abgeschieden werden, im zweiten Gefäss doppelt so viel Wasserstoff an der negativen als Sauerstoff an der positiven und im dritten dreimal so viel Wasserstoff an der negativen als Stickstoff an der positiven Elektrode. Geht nun der Strom hindurch, so ist das abgeschiedene Volumen Wasserstoff in allen drei Gefässen dasselbe, das abgeschiedene Volumen Chlor ebenso gross, das abgeschiedene Volumen Sauerstoff halb und endlich das abgeschiedene Volumen Stickstoff ein Drittel so gross, wie das des Wasserstoffs. Das Gewicht eines bestimmten Volumens Wasserstoff verhält sich aber zum Gewicht eines gleichen Volumens Chlorgas, ferner zu dem eines halb so grossen Volumens Sauerstoff und endlich zu dem eines ein Drittel so grossen Volumens Stickstoff wie $1 : 35{,}5 : \frac{16}{2} : \frac{14}{3}$, und das sind gerade die chemischen Aequivalentzahlen von Chlor, Sauerstoff, Stickstoff.

Geht also derselbe Strom durch eine Reihe von verschiedenen Elektrolyten, so verhalten sich die Gewichtsmengen der ausgeschiedenen Substanzen genau wie die chemischen Aequivalentgewichte dieser Substanzen in der betreffenden Verbindung.

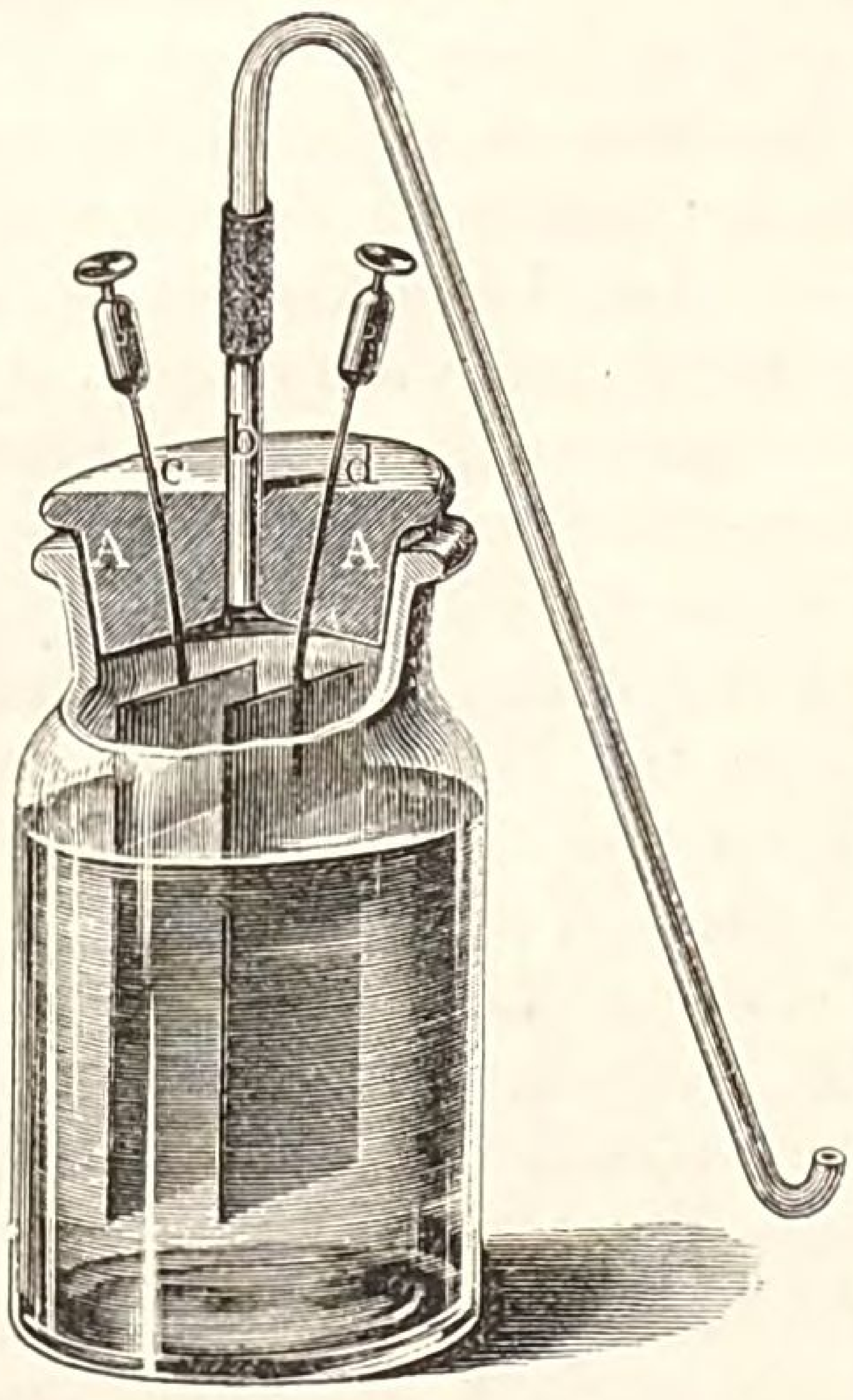
Ein Strom z. B., der aus Wasser in einer bestimmten Zeit 1 Gramm Knallgas entwickelt, scheidet in derselben Zeit 3,522 Gramm Kupfer aus Kupfervitriol und 11,99 Gramm Silber aus salpetersaurem Silber ab, weil die Zahlen 1 : 3,522 : 11,99 sich wie die Aequivalentzahlen des Knallgases, des Kupfers in Kupfervitriol, des Silbers in salpetersaurem Silber verhalten.

Diese gesetzmässigen Beziehungen werden uns sofort neue Mittel für die Messung von elektrischen Strömen gewähren.

Eine wichtige Frage ist nämlich nun die: von welchen Verhältnissen des elektrischen Stroms hängt die Menge der abgeschiedenen Substanzen ab? Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Menge der in einer gewissen Zeit abgeschiedenen Elektrolyte nur abhängt von der Menge der in dieser Zeit durch die Flüssigkeit durchgegangenen Elektricität. Die Menge der durch einen Querschnitt in einer Sekunde durchgehenden Elektricität hatten wir aber die Intensität des Stromes genannt. Es hängt also die Menge der in jeder Sekunde elektrolytisch abgeschiedenen Stoffe allein ab von der Intensität des Stromes, von der Stromstärke. Dies lässt sich durch Versuche leicht nachweisen.

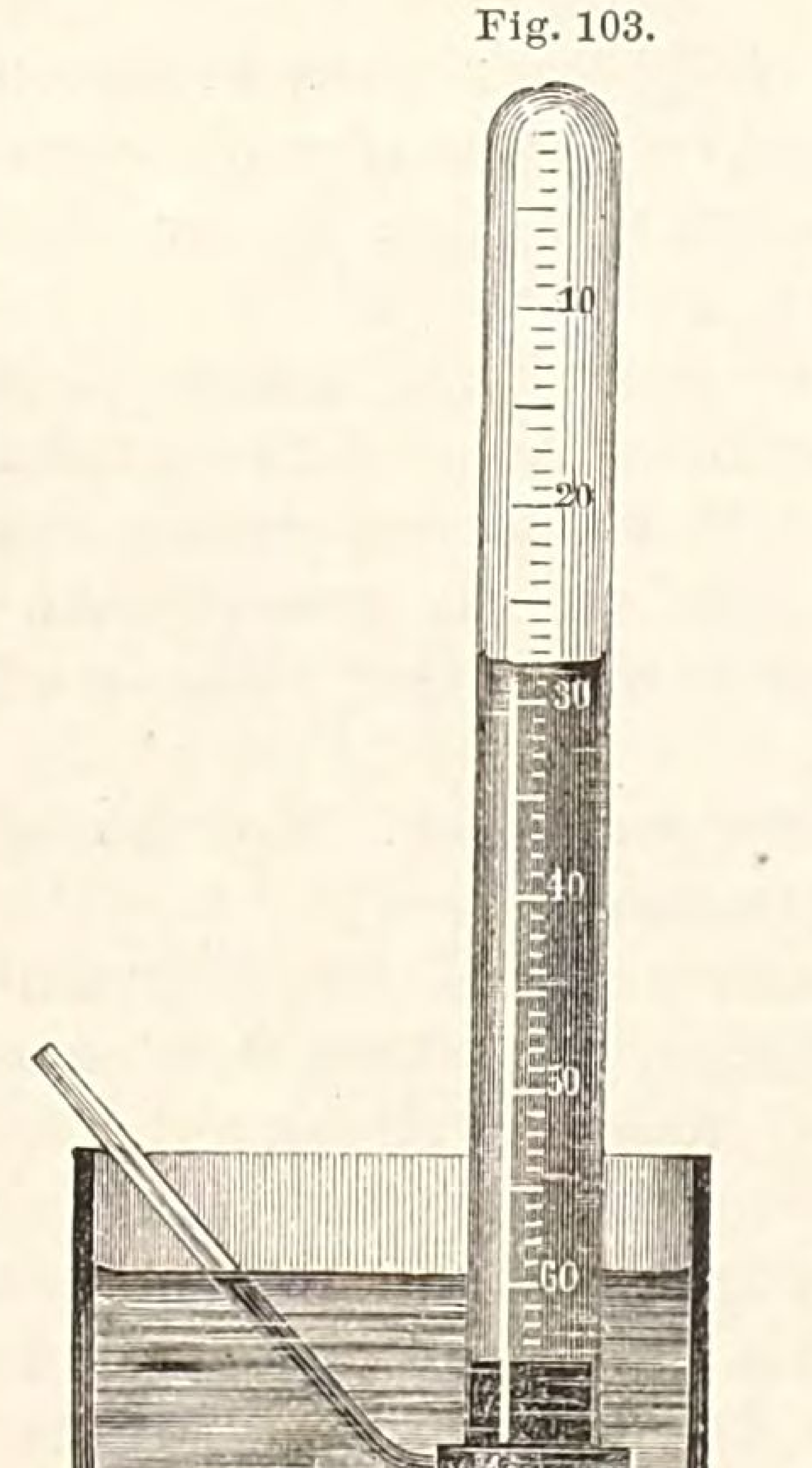
Ob man den Strom durch eine Zersetzungszelle von einem einzigen Daniell'schen Element, oder von 10 Daniell'schen Elementen (hinter einander geschaltet) sendet, es bleibt doch die Menge der in einer Sekunde oder einer Minute abgeschiedenen Elektrolyte dieselbe, wenn man nur das zweite Mal noch so viel Widerstand in den Stromkreis einschaltet, dass die Intensität des Stromes dieselbe ist wie das erste Mal.

Fig. 102.



In folgender Form ist der Versuch einfach anzustellen. Man schaltet in den Stromkreis, der etwa zwei Bunsen'sche Elemente enthält, erstens eine Tangentenbussole und zweitens ein Gefäss mit angesäuertem Wasser ein, in welches Platinplatten als Elektroden tauchen. Fig. 102 zeigt eine zweckmässige Form eines solchen Gefässes. Es sind darin c und d die Zuleitungsklemmen, welche zu den Platinplatten führen. Durch den Strom entwickelt sich nun an der einen Elektrode Wasserstoff, an der andern Sauerstoff, und diese Gase entweichen zusammen durch das gekrümmte Rohr b, welches in den Verschlusskork A des Gefässes luftdicht eingesteckt ist. Um dieses entweichende Gasgemisch, welches bekanntlich Knallgas heisst, aufzufangen, führt das gekrümmte Rohr in eine mit Wasser gefüllte, getheilte Röhre, welche in einer mit Wasser gefüllten Schüssel steht, wie Fig. 103 zeigt. Die Gase steigen aus dem gekrümmten Rohr in die getheilte Röhre und treiben das Wasser aus dieser Röhre hinaus. Die Röhre ist so getheilt, dass der Rauminhalt zwischen je zwei Theilstrichen gleich einem Kubikcentimeter ist. Man kann also an ihr sofort ablesen, wie viel Kubikcentimeter Knallgas in der bestimmten Zeit, während welcher man den Strom hat hindurchgehen lassen, aus dem Zersetzungsapparat entwickelt wurden.

Fig. 103.



Macht man nun diesen Versuch, so findet man bei diesem Strom von zwei Bunsen'schen Elementen einen bestimmten Ausschlagswinkel an der Tangentenbussole und ein bestimmtes Volumen von abgeschiedenem Knallgas, wenn man den Strom z. B. eine Minute hat hindurchgehen lassen und ihn dann unterbrochen hat.

Nimmt man aber jetzt statt zweier Bunsen'schen Elemente, z. B. 10 hinter einander geschaltete, schaltet aber ausserdem noch so viel

Drahtwiderstand ein, bis der Ausschlag an der Tangentenbussole wieder ebenso gross ist, wie früher, also die Stromstärke wieder dieselbe ist, wie früher, und schliesst man den Strom wieder eine Minute lang, so findet man, dass jetzt genau ebenso viel Knallgas entwickelt wird, wie vorher.

Man kann diesen Versuch auf verschiedene Weisen variiren, immer aber findet man dasselbe Resultat, dass die Menge des elektrolytisch abgeschiedenen Knallgases nur abhängt von der Intensität des Stromes, also nicht von der elektromotorischen Kraft der Kette allein und nicht von dem Widerstand allein, sondern nur von dem Verhältniss

$$\frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Gesammtwiderstand}}$$

welches ja nach dem Ohm'schen Gesetz gleich der Stromstärke ist.

Je grösser also die Intensität des Stromes ist, desto mehr Knallgas wird in einer Minute abgeschieden, je geringer sie ist, um so weniger. Diese Beziehung kann man auch, und das ist von grosser Wichtigkeit, umgekehrt benutzen. Je mehr Knallgas durch einen Strom entwickelt wird, desto grösser ist die Stärke des Stromes, je weniger entwickelt wird, desto kleiner. Man kann also direkt die abgeschiedene Menge Knallgas als Mass der Stromstärke benutzen. Werden durch einen Strom z. B. in der Minute 5 Kubikcentimeter Knallgas entwickelt, durch einen andern 10 Kubikcentimeter in der Minute, so beweist uns dies, dass die Stärke des Stromes im zweiten Falle doppelt so gross ist, als im ersten Falle.

Da man also den in Fig. 102 und 103 abgebildeten Apparat direkt zur Messung der Stromstärke benutzen kann, indem die entwickelte Menge Knallgas direkt ein Mass für die Intensität des Stromes ist, so nennt man diesen Apparat ein Voltameter, oder genauer ein Knallgasvoltameter.

Es ist principiell viel einfacher, ein Voltameter zur Messung der Stromstärke anzuwenden, als eine Tangentenbussole oder ein anderes Galvanometer. Denn der Ausschlag, den verschiedene Galvanometer für eine bestimmte Stromstärke geben, ist natürlich nicht derselbe, da ja die Grösse dieses Ausschlags abhängt von der Grösse und der Anzahl der Windungen, welche um die Magnetnadel geführt sind, und von verschiedenen anderen Dingen. Man kann also die Angaben zweier verschiedener Galvanometer gar nicht direkt mit einander vergleichen, ehe man nicht weiss, wie gross der Ausschlag bei diesen verschiedenen Galvanometern für eine und dieselbe Stromstärke ist. Die Angaben der Voltameter aber sind immer dieselben. Ein Strom von einer bestimmten Stärke scheidet in jedem Knallgasvoltameter in gleicher Zeit immer die gleiche Menge Knallgas ab.

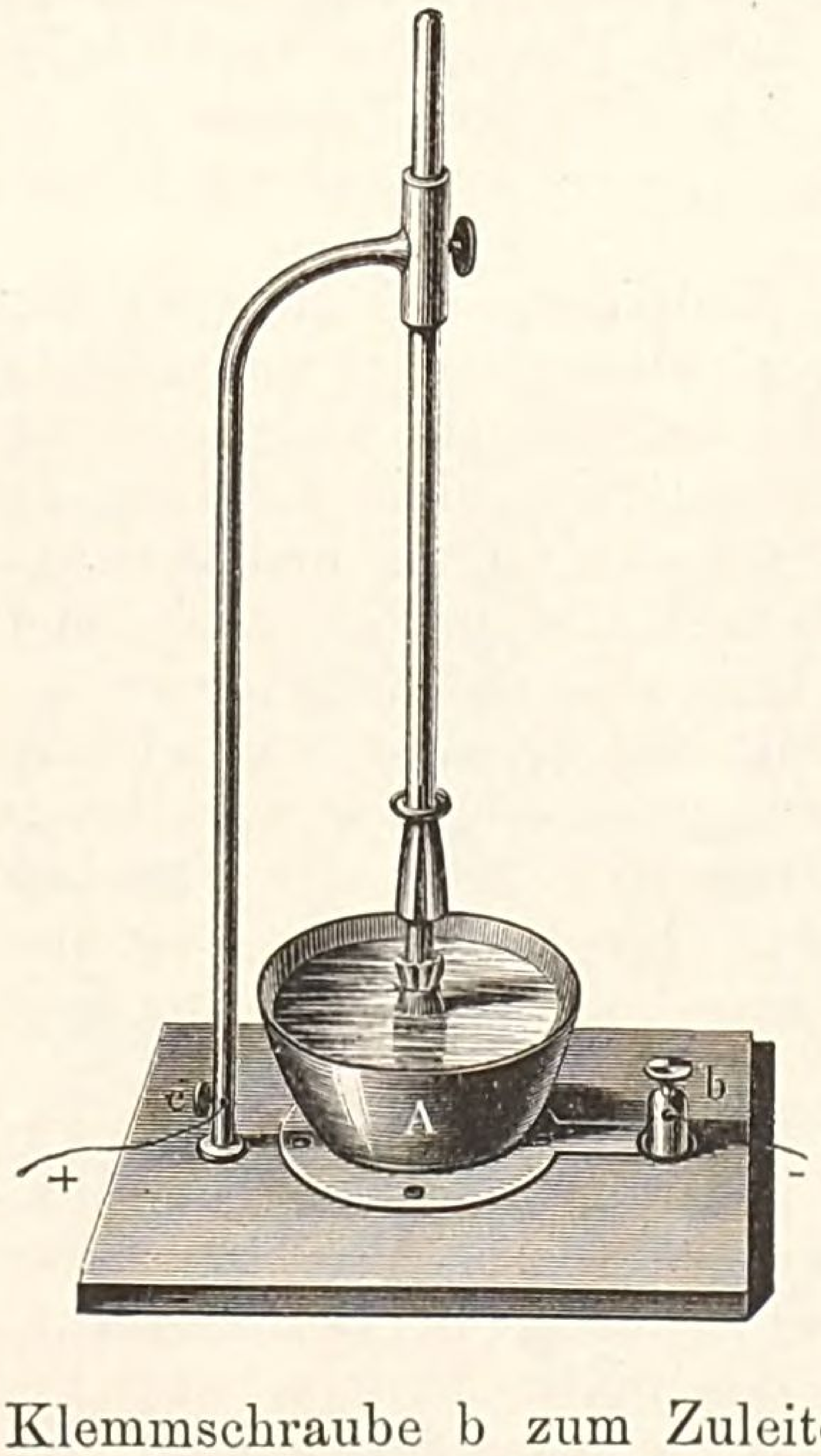
Man hat deshalb früher diejenige Stromintensität als Einheit genommen, durch welche in einer Minute ein Milligramm Knallgas, d. h. 1,865 Kubikcentimeter Knallgas entwickelt wurden. Wie schon erwähnt, nimmt man jetzt als Einheit des Stromes, der Stromstärke, 1 Ampère an, welches die Intensität desjenigen Stromes ist, bei welchem in jeder Sekunde 1 Coulomb durch jeden Querschnitt des Stromkreises hindurchgeht. Ein Ampère entwickelt nun, wie exakte

Versuche lehren, in einer Sekunde 0,09328 Milligramm (= 0,1740 Kubikcentimeter bei normalem Druck und normaler Temperatur) Knallgas, d. h. in einer Minute 10,440 Kubikcentimeter Knallgas. Man kann danach stets die Stärke eines Stromes in Ampères bestimmen, wenn man nur die von dem Strome in einer Minute abgeschiedene Menge Knallgas (dem Gewicht oder dem Volumen nach) kennt und durch die obige Zahl dividirt.

Nach dem Faraday'schen Gesetze wird für jede entwickelte Menge Knallgas aus Wasser eine äquivalente Menge Kupfer aus Kupfervitriol und eine äquivalente Menge Silber aus salpetersaurem Silber abgeschieden. Immer wenn 1 Gramm Knallgas (das sind 1865 Kubikcentimer) aus Wasser entwickelt wird, werden aus Kupfervitriol 3,522 Gramm Kupfer und aus salpetersaurem Silber 11,99 Gramm Silber abgeschieden. Man kann deshalb zur Messung der Stromstärke auch statt eines Knallgasvoltameters ein sogenanntes Kupfervoltameter benutzen oder ein Silbervoltameter.

Man braucht nur zwei blanke Platinplatten in Kupfervitriol zu tauchen und den Strom eine bestimmte Zeit lang, z. B. eine Minute hindurchgehen zu lassen, dann scheidet sich auf der negativen Platinelektrode Kupfer ab und aus der Menge des abgeschiedenen Kupfers kann man sofort die Stärke des Stromes in Ampères bestimmen. Man wird also die negative Platinplatte trocken vor dem Versuch wägen, sie in das Kupfervoltameter hängen, dann den Strom hindurchgehen lassen (z. B. 1 Minute lang) und sie dann mit dem auf ihr niedergeschlagenen Kupfer wieder wägen, nachdem man sie vorher abgetrocknet hat. Der Unterschied des Gewichts giebt das Gewicht des in 1 Minute abgeschiedenen Kupfers an. Nun scheidet ein Strom von 1 Ampère in 1 Minute 19,69 Milligramm Kupfer ab. Man hat also aus der abgeschiedenen Menge des Kupfers auch sofort die Stromstärke in Ampères. Um bei dem Kupfervoltameter genaue Resultate zu bekommen, muss man die Kupfervitriollösung ganz concentrirt nehmen und die beiden Elektroden recht gross machen.

Fig. 104.



Für das Silbervoltameter, dessen Anwendung nicht sehr bequem, aber sehr sicher ist, benutzt man gewöhnlich eine Form, welche in Fig. 104 abgebildet ist. Die Lösung von salpetersaurem Silber befindet sich in einer Schale A von Platin, welche auf einem metallischen Boden steht, der eine Klemmschraube b zum Zuleiten des Stromes hat. Diese Platinschale dient nämlich gleich als negative Elektrode, an der sich also das

elektrolytisch abgeschiedene Silber ansetzt. Als positive Elektrode wird ein kleines Stäbchen von Silber in die Lösung eingetaucht. Bei der Elektrolyse der Lösung scheidet sich also Silber an der Platinschale ab, der Rest des Salzes, die Salpetersäure, scheidet sich an der positiven Elektrode, dem Silber, ab, und verbindet sich mit diesem gleich wieder zu salpetersaurem Silber, welches sich in der Flüssigkeit auflöst. Man hat dadurch den Vortheil, dass die Lösung immer gleichmässig concentrirt bleibt. Denn grade so viel Silber, wie sich an den Platintiegel ansetzt, wird nach dem Faraday'schen Gesetz von dem Silberstab aufgelöst. Hat man nun die Platinschale vor dem Versuch trocken gewogen und wägt man sie, nachdem man den Strom z. B. eine Minute lang hat durchgehen lassen, wieder (wobei man natürlich erst die Flüssigkeit aus ihr ausgiesst und sie durch Glühen sorgfältig trocknet), so giebt die Gewichtsdifferenz die in 1 Minute abgeschiedene Menge Silber. Nun scheidet ein Strom von der Stärke 1 Ampère in 1 Minute 67,10 Milligramm Silber ab. Man hat also aus der Gewichtsdifferenz der Platinschale sofort die Stromstärke in Ampères.

Das letzte Beispiel des Silbervoltameters hat uns schon auf eine Erweiterung unserer Betrachtungen geführt. Wir hatten bis dahin angenommen, dass die Elektroden, welche in die elektrolytische Flüssigkeit tauchen, beide von gleichem Metall sind, also etwa Platinelektroden. Das ist aber durchaus nicht nothwendig. Die Elektrolyse von Flüssigkeiten durch den Strom findet stets in gleicher Weise statt, mögen die Elektroden nun aus demselben oder aus verschiedenen Metallen bestehen. Immer, wenn ein elektrischer Strom durch eine zersetzbare Flüssigkeit fliesst, findet Zersetzung, Elektrolyse statt. Daraus folgt, dass auch in einem galvanischen Element selbst, das ja auch vom Strom durchflossen wird, elektrolytische Zersetzung der Flüssigkeit eintreten muss, und dass diese Zersetzung auch genau nach dem Faraday'schen Gesetz vor sich gehen muss. Und das ist in der That der Fall. Denken wir uns zum Beispiel ein Daniell'sches Element, bestehend aus Kupfer in Kupfervitriol und Zink in verdünnter Schwefelsäure vom Strom durchflossen, so werden die beiden Flüssigkeiten zersetzt. Kupfervitriol $CuSO_4$ wird zerlegt in Kupfer (Cu) und SO_4. welches nicht frei bestehen kann. Die verdünnte Schwefelsäure wird zerlegt in Wasserstoff (H_2) und SO_4. In dem Element selbst ist nun Kupfer die negative Elektrode, denn der positive Strom fliesst ja in dem Element vom Zink zum Kupfer. Es tritt in Folge dessen das aus dem Kupfervitriol abgeschiedene Kupfer an die Kupferelektrode heran und diese bedeckt sich im Laufe des Processes mit einer glänzenden Schicht von reinem metallischen Kupfer. Der Rest SO_4 aus dem Kupfervitriol geht in der Richtung zum Zink. Zugleich aber kommt von der elektrolysirten Schwefelsäure freier Wasserstoff H_2 diesem Rest SO_4 entgegen (nach der Kupferelektrode hin) und diese beiden Componenten verbinden sich wieder zu Schwefelsäure H_2SO_4. Der andere Bestandtheil der elektrolysirten Schwefelsäure SO_4 geht zum Zink, welches in dem Element ja positive Elektrode ist, und verbindet sich mit diesem sofort zu schwefelsaurem Zink (Zinkvitriol). Alle diese Trennungen und Vereinigungen gehen nach dem Faraday'schen

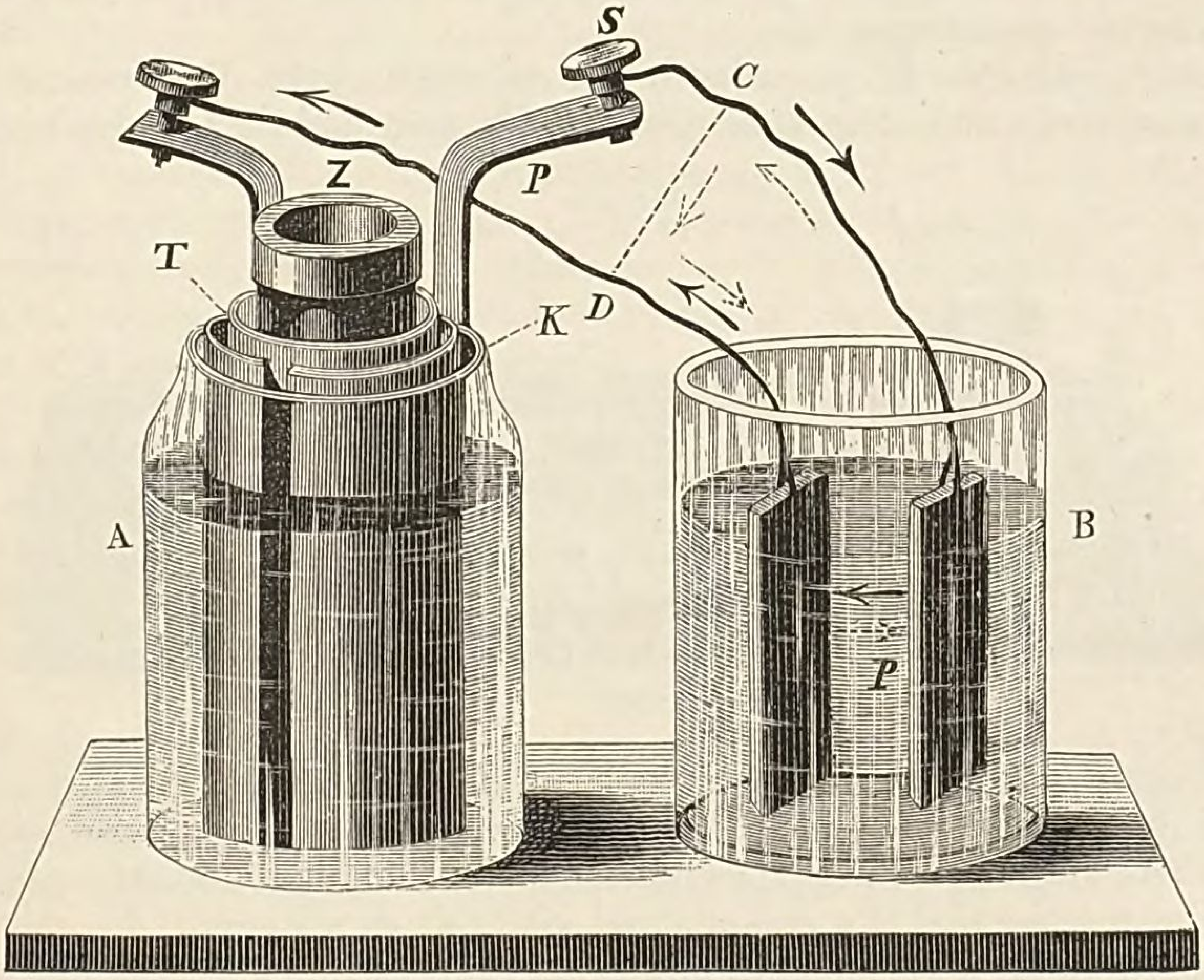
Gesetz in äquivalenten Mengen vor sich. Das Resultat dieser chemischen Vorgänge in der Kette ist also das, dass fortwährend Zink sich in Schwefelsäure auflöst und zu gleicher Zeit eine äquivalente Menge Kupfer sich an der Kupferelektrode niederschlägt.

Wenn sich Zink in Schwefelsäure auflöst, so entsteht, wie die Thermochemie lehrt, immer eine gewisse Wärmemenge; bei dem Ausfällen von Kupfer aus Kupfervitriol wird dagegen eine andere, und zwar kleinere Wärmemenge verbraucht. Die chemischen Vorgänge in der Kette lassen also eine gewisse Wärmemenge frei werden. Diese Wärmemenge nun bleibt nicht frei im Element, sie dient nicht dazu, um die Temperatur des Elements zu erhöhen, sondern die Energie dieser Wärmemenge verwandelt sich eben in elektrische Energie, und dient dazu, den elektrischen Strom zu unterhalten. Man kann daher auch direkt sagen, wenn in einem Element ein elektrischer Strom erzeugt und unterhalten wird, so wird die Energie, die Arbeitsmenge, die der Strom enthält, geliefert auf Kosten der Wärme, welche durch die chemischen Processe in der Kette frei wird. Es ist nun eine noch nicht endgültig entschiedene wissenschaftliche Frage, ob die Elektricität zuerst entwickelt wird durch die blosse Berührung der Metalle und Flüssigkeiten, und ob durch diese Elektricität die chemischen Processe eingeleitet werden und diese dann dazu dienen, den Strom weiter zu unterhalten, oder ob erst durch die chemischen Processe überhaupt Elektricität entwickelt wird. Die erste Ansicht nennt man die Contakttheorie des galvanischen Stromes, die andere die chemische Theorie. In Bezug auf galvanische Elemente, welche aus Metallen und Flüssigkeiten bestehen, ist diese Frage von untergeordneter Bedeutung, weil in diesen jedenfalls die Energie der chemischen Processe das Aequivalent für die Energie des elektrischen Stromes bietet. Eine principielle Wichtigkeit erlangt diese Streitfrage erst dadurch, dass man sie auf die Entstehung der Elektricität bei der Berührung von zwei Metallen anwendet. Hier behauptet die Contakttheorie, dass durch die blosse Berührung zweier verschiedener Metalle Elektricität erzeugt wird, während die chemische Theorie behauptet, dass, wenn absolut jede chemische Einwirkung, sei es durch Gase, sei es durch Feuchtigkeit, vermieden würde, keine Elektricität entwickelt werden könnte. Die Frage unterliegt noch der wissenschaftlichen Diskussion.

Wie wir schon mehrfach gesehen haben, ist jede von der Richtung des galvanischen Stromes abhängende Wirkung desselben im Stande, umgekehrt wieder einen galvanischen Strom zu erzeugen. Dies zeigt sich auch bei den elektrolytischen Wirkungen des Stromes. Man kann von vornherein schon einsehen, dass in gewissen Fällen eine neue elektromotorische Kraft entstehen muss, wenn man den galvanischen Strom durch eine Zersetzungszelle schickt und durch ihn die Flüssigkeit elektrolysiren lässt. Lassen wir z. B. den Strom vermittelst zweier Platinplatten durch eine Lösung von salpetersaurem Silber gehen. An sich besitzen zwei Platten von gleichem Metall, die in eine Flüssigkeit tauchen, keine elektromotorische Kraft. In einer Zelle, die eine Lösung von salpetersaurem Silber und zwei Platinplatten enthält, ist also von vornherein keine elektromotorische Kraft

vorhanden. Schickt man nun aber einen Strom durch diese Zelle hindurch, so wird das salpetersaure Silber elektrolysirt, und es scheidet sich an der einen Platinplatte Silber ab, welches diese Platte überzieht. In die Zersetzungszelle tauchen also jetzt nicht mehr zwei Platten aus gleichem Metall, zwei reine Platinplatten, sondern eine reine Platinplatte und eine mit Silber überzogene Platinplatte. Zwei verschiedene Metalle in einer Flüssigkeit sind aber elektromotorisch gegen einander wirksam, folglich muss durch die Elektrolyse in der Zersetzungszelle eine elektromotorische Kraft erzeugt sein. Diese Forderung einer einfachen Ueberlegung zeigt sich nun thatsächlich in der Natur erfüllt. Aber nicht nur dann, wenn sich die eine Elektrode mit einer Schicht eines andern Metalles überzieht, tritt in der Zersetzungszelle ein Gegenstrom

Fig. 105.

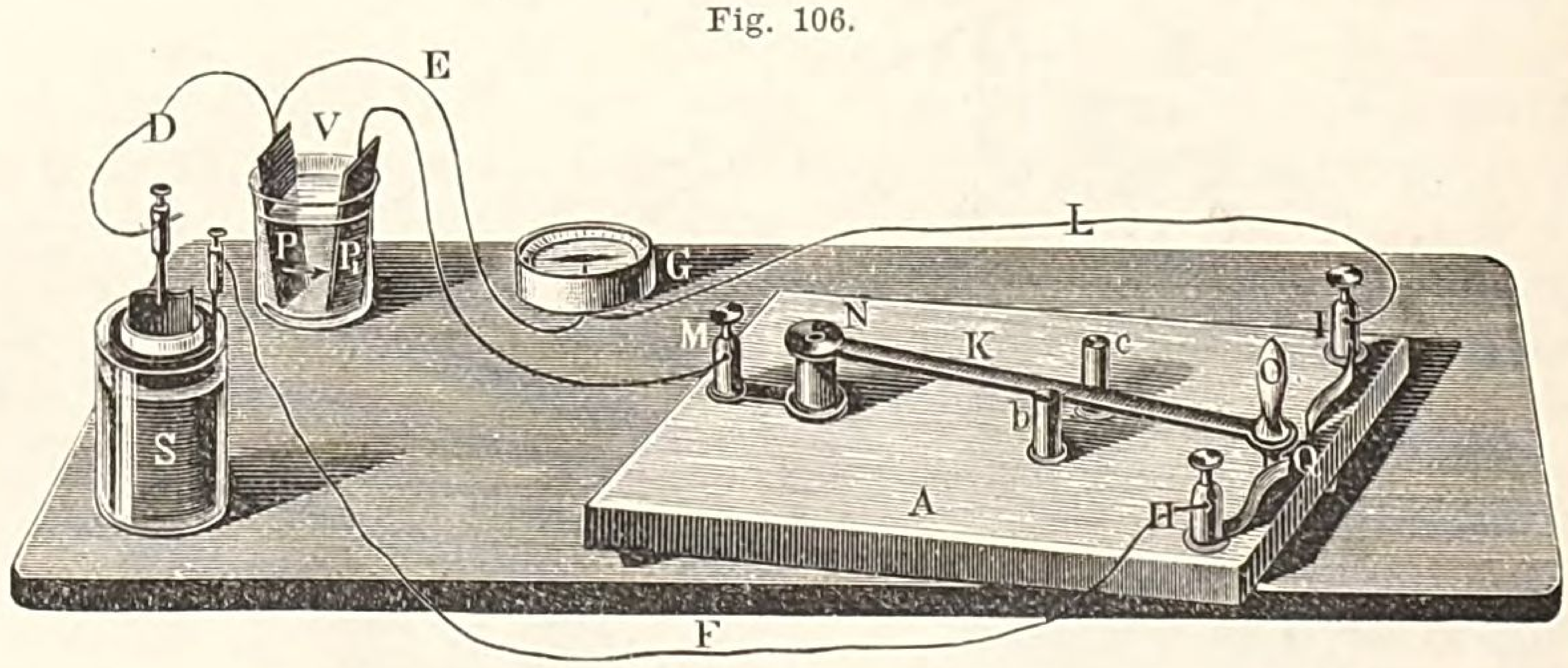


auf. Selbst in Fällen, wo man eine Veränderung der Elektroden nicht erkennen kann und nicht vermuthen sollte, sind die Elektroden nach Durchgang eines Stromes elektromotorisch gegen einander wirksam. Tauchen wir zum Beispiel wie in Fig. 105 zwei Platinplatten in angesäuertes Wasser und schicken wir einen Strom durch die Zersetzungszelle hindurch, so wissen wir, dass sich an der einen Elektrode Wasserstoff, an der andern Sauerstoff bildet. Diese Gase, sollte man meinen, verändern die Platinelektroden nicht, so dass diese hierbei nicht elektromotorisch gegen einander wirksam werden können. Trotzdem werden sie es hier auch. Bei jeder elektrolytischen Zersetzung kommen die Elektroden in einen veränderten Zustand, der bewirkt, dass sie nun elektromotorisch gegen einander wirksam sind. Man hat für diesen Zustand das Wort Polarisation eingeführt. Man sagt, die Elektroden

werden polarisirt. Immer, wenn ein Strom durch eine Zersetzungszelle hindurchgesendet wird, werden die Elektroden in dieser Zelle polarisirt. Da also zwei polarisirte Elektroden elektromotorisch gegen einander wirksam sind, so muss, wenn man sie durch einen Draht mit einander verbindet, durch diesen Draht und die Zersetzungszelle ein elektrischer Strom fliessen. Dies ist nun in der That der Fall und lässt sich sehr einfach experimentell zeigen. Man nennt diesen Strom, der von zwei polarisirten Elektroden ausgeht, den Polarisationsstrom. Wenn man also z. B. von einer Daniell'schen Kette den Strom mittelst zweier Platinelektroden in ein Gefäss mit angesäuertem Wasser sendet, so werden die Platinelektroden polarisirt. Trennt man nun die Platinelektroden von dem Daniell'schen Element und verbindet sie unter sich und mit einem Galvanometer, so schlägt die Nadel des Galvanometers aus und zeigt dadurch das Vorhandensein eines Stromes, des Polarisationsstromes, an.

Auf einfache Weise wird diese abwechselnde Verbindung der Zersetzungszelle mit dem Daniell'schen Element und dem Galvanometer

Fig. 106.



durch eine Anordnung erreicht, die in Fig. 106 gezeichnet ist. Ein um N drehbarer Hebel von Metall K mit einem Griff O wird einmal durch Drehung mit einer Metallfeder in Verbindung gesetzt, die mit der Klemmschraube H, das andere Mal mit der Feder, die mit der Klemmschraube I verbunden ist. Dann erkennt man den Lauf des Stromes aus der Figur sofort.

Ist der Hebel mit H in Berührung, so geht der Strom von dem Daniell'schen Element S zu der einen Platinelektrode P in der Zersetzungszelle V, durch die Flüssigkeit in dieser zu der andern Platinelektrode P_1, von dieser zu M, welches metallisch mit dem Hebel K in Verbindung ist, dann durch den Hebel hindurch zu H und von da zum andern Pol des Elements zurück. Der Strom aus dem Daniell fliesst also nun durch die Zersetzungszelle, elektrolysirt die Flüssigkeit in dieser und polarisirt die Elektroden.

Wird nun der Hebel K an die andere Feder angedrückt, die mit I verbunden ist, so ist der Stromkreis von dem Element aus unterbrochen. Dagegen ist jetzt ein vollständiger Kreis gebildet von P durch die Zersetzungszelle zu P_1, von dort zu M, N, I und von I durch das Galvanoskop G zu der Platinelektrode P zurück. In diesem

Stromkreis fliesst nun der Polarisationsstrom und sein Vorhandensein wird durch den Ausschlag des Galvanoskops G angegeben.

Thatsächlich also werden durch den Durchgang des Stromes durch eine elektrolysirbare Flüssigkeit die Elektroden polarisirt und dadurch wird in der Zersetzungszelle eine elektromotorische Kraft erzeugt. Diese elektromotorische Kraft nun erzeugt einen Strom, dessen Richtung der des ursprünglichen, polarisirenden Stromes entgegengerichtet ist. Fliesst z. B. in der obigen Figur der positive Strom von dem Daniell'schen Element nach P und von diesem durch die Flüssigkeit zu P_1, so fliesst umgekehrt im Polarisationsstrom der positive Strom von P_1 durch die Flüssigkeit zu P. So ist es nicht nur bei dem in der Figur angenommenen Falle, dass Platinelektroden in angesäuertem Wasser polarisirt werden, sondern überhaupt immer. Der Polarisationsstrom hat immer die entgegengesetzte Richtung als der ursprüngliche Strom, den man auch den polarisirenden Strom nennt.

Schon während der polarisirende Strom fliesst, werden die Elektroden in der Zersetzungszelle elektromotorisch gegen einander wirksam und es fliesst daher von der Zersetzungszelle ein Strom durch den Schliessungskreis dem polarisirenden Strome entgegen. Es wird also der Strom, der von einem Element, z. B. einem Daniell, durch eine Zersetzungszelle fliesst, durch den in entgegengesetzter Richtung fliessenden Polarisationsstrom geschwächt.

Daraus erkennt man erstens, dass man auf den Strom, der durch eine Flüssigkeitssäule fliesst, nicht ohne Weiteres das Ohm'sche Gesetz so anwenden kann, wie auf einen Strom, der durch einen metallischen Leiter fliesst. Ging der Strom durch einen Leiter, so hatte das Ohm'sche Gesetz einfach den Ausdruck:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektromotorische Kraft des Elementes}}{\text{Gesammtwiderstand}};$$

hier aber, bei einer Flüssigkeit, wirkt der elektromotorischen Kraft des Elements entgegen die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes. Wir haben also zwei einander entgegenwirkende elektromotorische Kräfte und müsse also das Ohm'sche Gesetz schreiben:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektrom. Kraft des Elementes} - \text{elektr. Kraft des Polarisationsstromes}}{\text{Gesammtwiderstand}}.$$

Die Stärke der Polarisirung der Elektroden ist nun abhängig von der Natur der Elektroden und der zersetzten Flüssigkeit. Es bilden sich ja durch den polarisirenden Strom gewissermassen neue Metalle, deren elektromotorische Kraft in der betreffenden Flüssigkeit von Fall zu Fall verschieden ist. Man kann auch annehmen, um sich eine Vorstellung von dem Vorgang zu bilden, dass, wenn zwei Platinelektroden in Wasser tauchen, diese beiden sich mit den elektrolytisch entwickelten Gasen bedecken und dadurch elektromotorisch gegen einander wirksam werden. Es würde also eine mit Sauerstoff bedeckte Platinplatte in Wasser elektrisch different sein gegen eine mit Wasserstoff bedeckte, was wir auch aus dem Vorhandensein von Gaselementen (S. 48) schon wissen. Sind die fremden Schichten auf den Platten noch von sehr geringer Dicke, so nimmt natürlich die elektromotorische Kraft zu, wenn die Dicke der Gasschicht vergrössert wird,

also wenn die Stärke des polarisirenden Stromes vergrössert wird. Sind die Gasschichten aber einmal so dick geworden, dass gewissermassen die Platinplatten ganz mit ihnen überzogen sind, so bewirkt eine Zunahme der abgeschiedenen Gasmengen keine Erhöhung der elektromotorischen Kraft des Polarisationsstromes mehr. Es wird also, wenn die Stärke des polarisirenden Stromes wächst, die elektromotorische Kraft des Polarisationselementes zuerst zunehmen bis zu einer gewissen Grenze, dann aber constant auf der einmal erreichten Höhe bleiben, so dass eine Vergrösserung der polarisirenden Stromstärke dann keinen weiteren Erfolg mehr hat. Falls nun die elektromotorische Kraft des polarisirenden Stromes unter diesem Maximum liegt, so kann sie selbstverständlich die Elektroden der Zersetzungszelle nicht bis zum Maximum ihrer Polarisation laden, denn sowie die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes die des ladenden Elementes überwiegen würde, würde ja der Strom in umgekehrter Richtung fliessen und die Polarisation wieder aufheben. Es ist dann also, bis zu diesem Maximum, die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes gleich der des polarisirenden Stromes. Bei Platinelektroden in Wasser z. B. fand man folgende Zahlen, welche die elektromotorische Kraft des polarisirenden und des Polarisationsstromes angeben.

Elektromotorische Kraft des polarisirenden Stromes.	Elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes.
1 Daniell	1 Daniell
1,5 „	1,5 „
2 „	2 „
2,3 „	2,3 „
2,5 „	2,3 „
3 „	2,3 „
5 „	2,3 „

Das Maximum der Polarisation liegt hier also bei 2,3 Daniell; dies ist die höchste elektromotorische Kraft, die sich bei der Polarisation von Platinplatten in Wasser erzeugen lässt. So hat ein jedes polarisirtes Element ein Maximum der elektromotorischen Kraft.

Wenn man nun von einem polarisirten Elemente, welches man auch ein sekundäres Element nennt, den Strom durch einen Schliessungskreis fliessen lässt, so fliesst er in umgekehrter Richtung, wie der polarisirende Strom. Durch jeden Strom wird eine Flüssigkeit zersetzt, also muss auch der Polarisationsstrom in dem sekundären Element selbst Elektrolyse hervorbringen. Da er nun in umgekehrter Richtung fliesst, wie der erste, so wird an der Platinplatte, die mit Sauerstoff bedeckt war, jetzt Wasserstoff erzeugt, und an derjenigen, die mit Wasserstoff bedeckt war, jetzt Sauerstoff erzeugt. Folglich nimmt die elektromotorische Kraft eines Polarisationsstromes ab, wenn der Strom fliesst, und immer mehr ab, je länger er fliesst. Wenn schliesslich die abgeschiedenen Schichten auf den Platinplatten ganz neutralisirt, ganz verschwunden sind, so hört der Polarisationsstrom ganz auf. Ein Polarisationsstrom dauert also nur eine bestimmte Zeit hindurch, so lange, bis die chemische Veränderung auf den Elektroden wieder ganz zurückgebildet ist. Es haben diese Polarisationselemente,

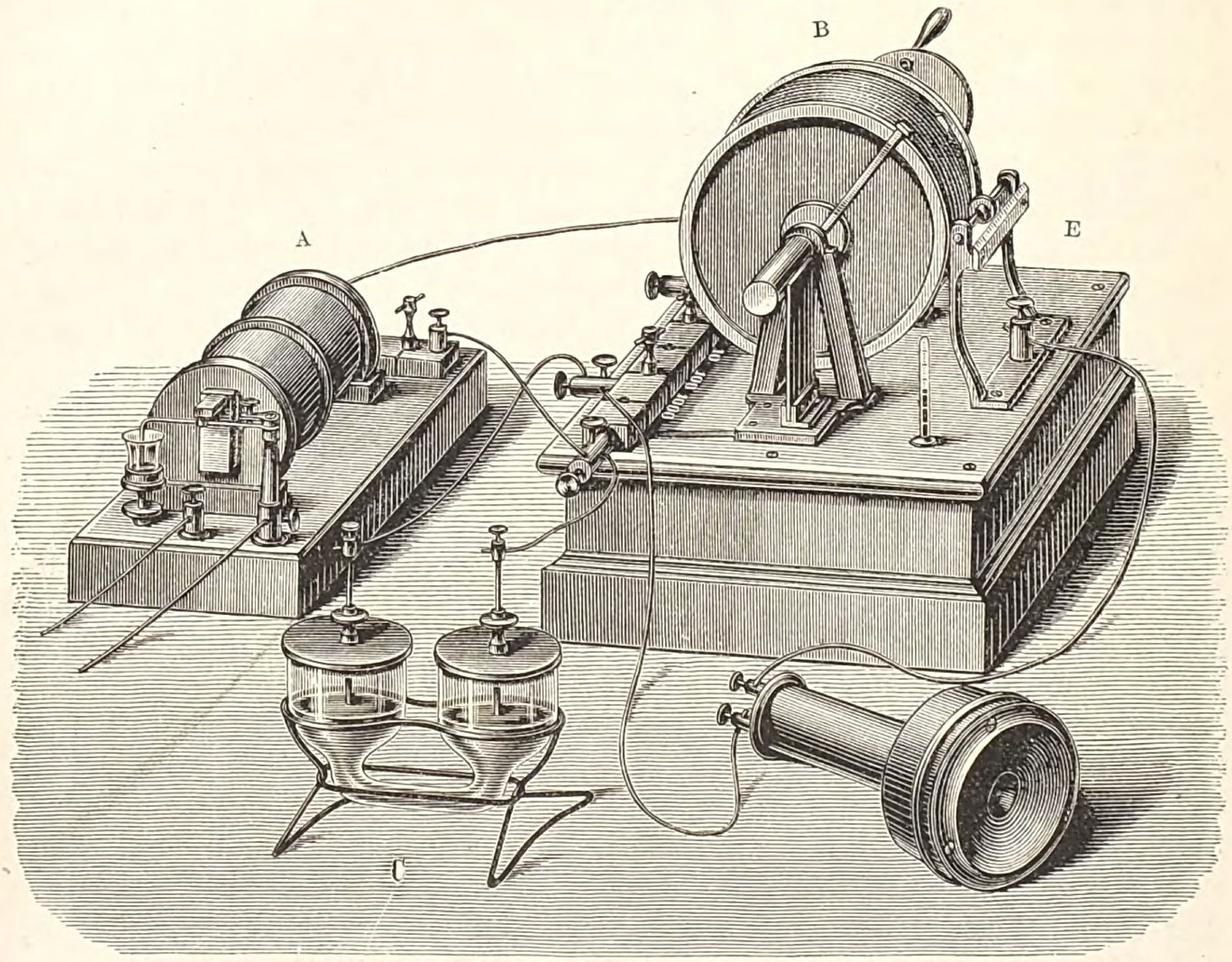
oder sekundären Elemente in der neueren Elektrotechnik eine wichtige Anwendung gefunden, welche in Kap. 2 des zweiten Theils dieses Werkes besprochen ist.

Natürlicherweise kann man eine Reihe von sekundären Elementen auch hinter einander oder neben einander verbinden. Man bekommt dann eine Polarisationsbatterie, oder Sekundärbatterie. Man kann also durch eine Reihe von solchen sekundären Elementen eine Batterie von sehr grosser elektromotorischer Kraft bekommen, die ausserordentlich starke Ströme liefert, aber natürlich nur eine gewisse Zeit hindurch. Zu neuem Gebrauch muss man dann die Batterie von neuem polarisiren oder, wie man sagt, laden. In der technischen Anwendung bezeichnet man diese Sekundärbatterien auch häufig als Akkumulatoren, weil sie gestatten, die Energie des polarisirenden Stromes aufzusammeln und anzuhäufen.

Das Auftreten der Polarisation in einer von einem Strome durchflossenen Flüssigkeit klärt uns nun auch auf, warum es nicht möglich ist, die Widerstände von Flüssigkeiten in derselben Weise zu bestimmen, wie die von festen Körpern. Immer wurde ja, bei allen Methoden der Widerstandsbestimmung, der zu untersuchende Leiter von einem Strome durchflossen. Ist also der Leiter eine Flüssigkeit, so tritt eine entgegenwirkende elektromotorische Kraft auf, deren Grösse man nicht kennt und die überdies veränderlich ist. Für diese gelten dann die Methoden der Widerstandsmessung nicht. Um eine Flüssigkeit nun doch einfach, wie einen Leiter erster Klasse behandeln zu können, ist es nothwendig, die Polarisation aufzuheben. Dies kann man nun dadurch erreichen, dass man durch die Flüssigkeit rasch hinter einander Ströme von entgegengesetzter Richtung sendet. Dann scheidet (z. B. bei Platinplatten in Wasser) der erste Strom an einer Elektrode Wasserstoff ab, der folgende scheidet gleich darauf Sauerstoff ab, welcher die Wasserstoffpolarisation aufhebt u. s. w. Bei rasch hinter einander folgenden Strömen von entgegengesetzter Richtung tritt also keine Polarisation in einer Flüssigkeitszelle auf. Macht man also z. B. die zu untersuchende Flüssigkeit zu der einen Seite eines Wheathstone'schen Parallelogramms, so kann man durch Abgleichen der Widerstände auch hierbei den Strom in der Brücke zu Null machen und dadurch den flüssigen Widerstand messen, vorausgesetzt, dass man solche alternirende Ströme durch die ganze Drahtcombination sendet. Derartige alternirende Ströme liefert z. B. ein sogenannter Inductionsapparat, wie wir ihn in Kap. 8 beschreiben werden. Nur ist noch die Schwierigkeit vorhanden, dass ein Galvanometer in der Brücke durch solche alternirende Ströme gar nicht beeinflusst wird. Der erste Strom will z. B. die Nadel nach rechts ablenken, der zweite, gleich starke, aber entgegengesetzte Strom sucht sie nach links abzulenken. Die Nadel bleibt daher, wie Buridans Esel, in Ruhe. Es giebt aber Apparate, die auch durch alternirende Ströme in gleicher Weise beeinflusst werden, die Elektrodynamometer, die wir in Kap. 7, und die Telephone, die wir in Kap. 8 beschreiben werden. Bringt man also z. B. ein Telephon in die Brücke, so wird man dies so lange tönen hören, bis die Widerstände so abgeglichen sind, dass durch die Brücke

keine Ströme gehen. Dann bestimmt sich der Flüssigkeitswiderstand, wie ein Drahtwiderstand. Solche Bestimmungen sind von F. Kohlrauch ausgeführt und er bedient sich dazu einer Anordnung, welche in Fig. 107

Fig. 107.



gezeichnet ist. Bei A befindet sich der Induktionsapparat, welcher die Stelle des galvanischen Elements vertritt. Von diesem geht der Strom einerseits durch einen bekannten Widerstand von 1 oder 10 oder 100 oder 1000 Siemens, der im Kasten E sich befindet und durch die zu untersuchende Flüssigkeit, die in dem Gefäss C enthalten ist, andererseits zu dem Messdraht, der auf einer Serpentinwalse B aufgewunden ist und auf welchem ein Röllchen sich bewegt, wenn man die Kurbel dreht. In der Brücke befindet sich das Telephon. Man dreht nun die Kurbel so lange, bis der Ton im Telephon verschwindet, und bestimmt dadurch auf bekannte Weise den Widerstand der Flüssigkeit.

6. Kapitel.

Die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

Alle Wirkungen eines galvanischen Stromes, die in den vorhergehenden Kapiteln besprochen wurden, fanden in der Bahn des Stromes selbst statt. Der Stromkreis wurde erwärmt nach dem Joule'schen Gesetz, an den Verbindungsstellen zweier verschiedener Metalle trat die Peltier'sche Wirkung auf. An der Unterbrechungsstelle eines Stromes entstand der elektrische Funke, welcher in gewissen Fällen Anlass für den galvanischen Lichtbogen gab; Flüssigkeiten endlich, die vom Strome durchflossen wurden, wurden elektrolysirt, in ihre Bestandtheile zerlegt.

Mit diesen angeführten Erscheinungen sind aber die Wirkungen des galvanischen Stromes lange nicht erschöpft. Schon bei der Messmethode, welche wir für den galvanischen Strom anwendeten, mittelst der Tangentenbussole oder mit andern Galvanometern, hatten wir die Wirkung eines Stromes auf einen Magneten benutzt, indem die Ablenkung der Magnetnadel von ihrer natürlichen Nord-Südrichtung uns ein Mass für die Stärke des galvanischen Stromes gab. Diese Wirkung ist jedoch nur eine ganz specielle in einer grossen, allgemeinen Klasse von Beziehungen, welche zwischen dem galvanischen Strom und Magneten herrschen.

Die fortgesetzten Untersuchungen der verschiedensten Physiker haben immer neue Beziehungen zwischen Elektricität und Magnetismus aufgedeckt, so dass es schliesslich sogar gelungen ist, die Erscheinungen des Magnetismus vollständig auf galvanische Erscheinungen zurückzuführen. Man fasst die gesammte Lehre von den Beziehungen der Elektricität zum Magnetismus unter dem Namen „Elektromagnetismus“ zusammen.

Es ist bekannt, dass jeder Magnet zwei Pole hat, einen Nordpol und einen Südpol. Hängt man einen Magneten, von welcher Form er auch sei, auf, so dass er sich frei drehen kann, so stellt er sich immer in eine ganz bestimmte Richtung. Dasjenige Ende, welches nach dem Norden der Erde zeigt, nennt man den Nordpol, das entgegengesetzte den Südpol des Magneten. Bei einem Magnetstab z. B., wie in Fig. 108, ist immer das eine Stabende ein Nordpol, das andere ein Südpol,

ebenso bei einer Magnetnadel, wie in Fig. 109. Ausser dieser Eigenschaft, sich immer in eine bestimmte Richtung zu stellen, hat aber jeder Magnet noch die bekannte, wichtige Eigenschaft, dass er andere Magnete und unmagnetisches Eisen anzieht, resp. abstösst. Es sind die Gesetze der Anziehung und Abstossung von zwei Magnetpolen genau dieselben, wie diejenigen der Anziehung und Abstossung von zwei elektrisirten Körpern. Gleichnamige Magnetpole stossen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an. Dass ein Magnet auch unmagnetisches Eisen anzieht, beruht auf einer Wirkung, die ganz analog ist der elektrischen Influenz. Wird nämlich ein unmagnetisches Stück weichen Eisens in die Nähe eines Magneten gebracht, so wird es schon dadurch selbst magnetisch, ganz so wie ein unelektrischer Körper in der Nähe eines elektrisirten durch Influenz elektrisch wird. Man sagt auch hier, ein Magnet erzeugt in einem unmagnetischen Stück Eisen Magnetismus durch magnetische Influenz oder Induktion. Deswegen wird weiches unmagnetisches Eisen von einem Magneten immer angezogen. Man kann das sehr deutlich sehen, wenn man auf einen Magnetstab Eisenfeilspähne streut, wie in Fig. 110; diese bleiben an den Enden des Magnetstabes haften.

Fig. 108.

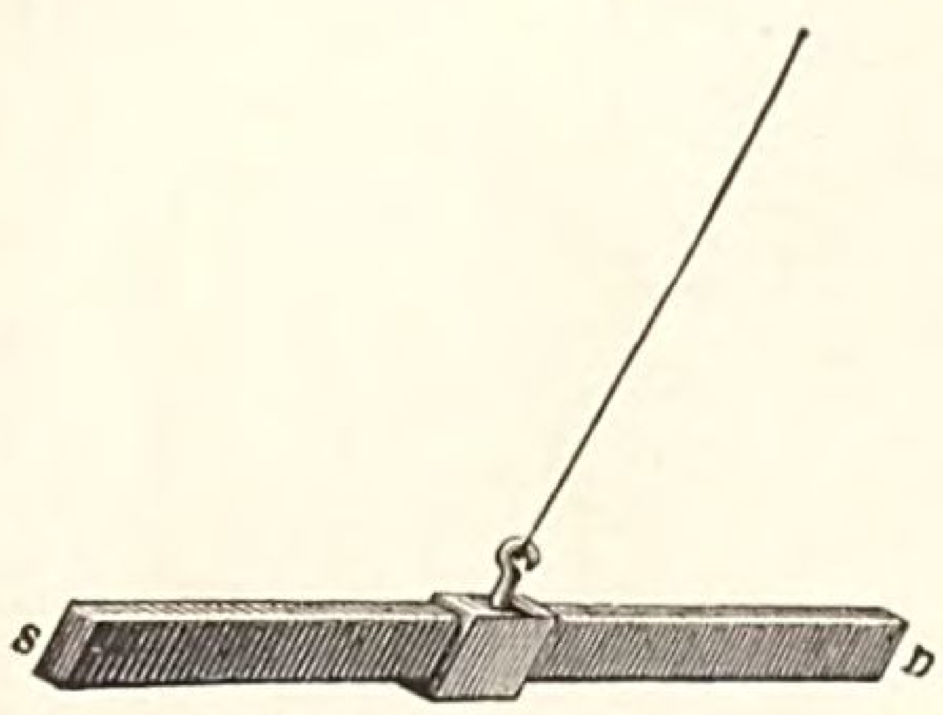
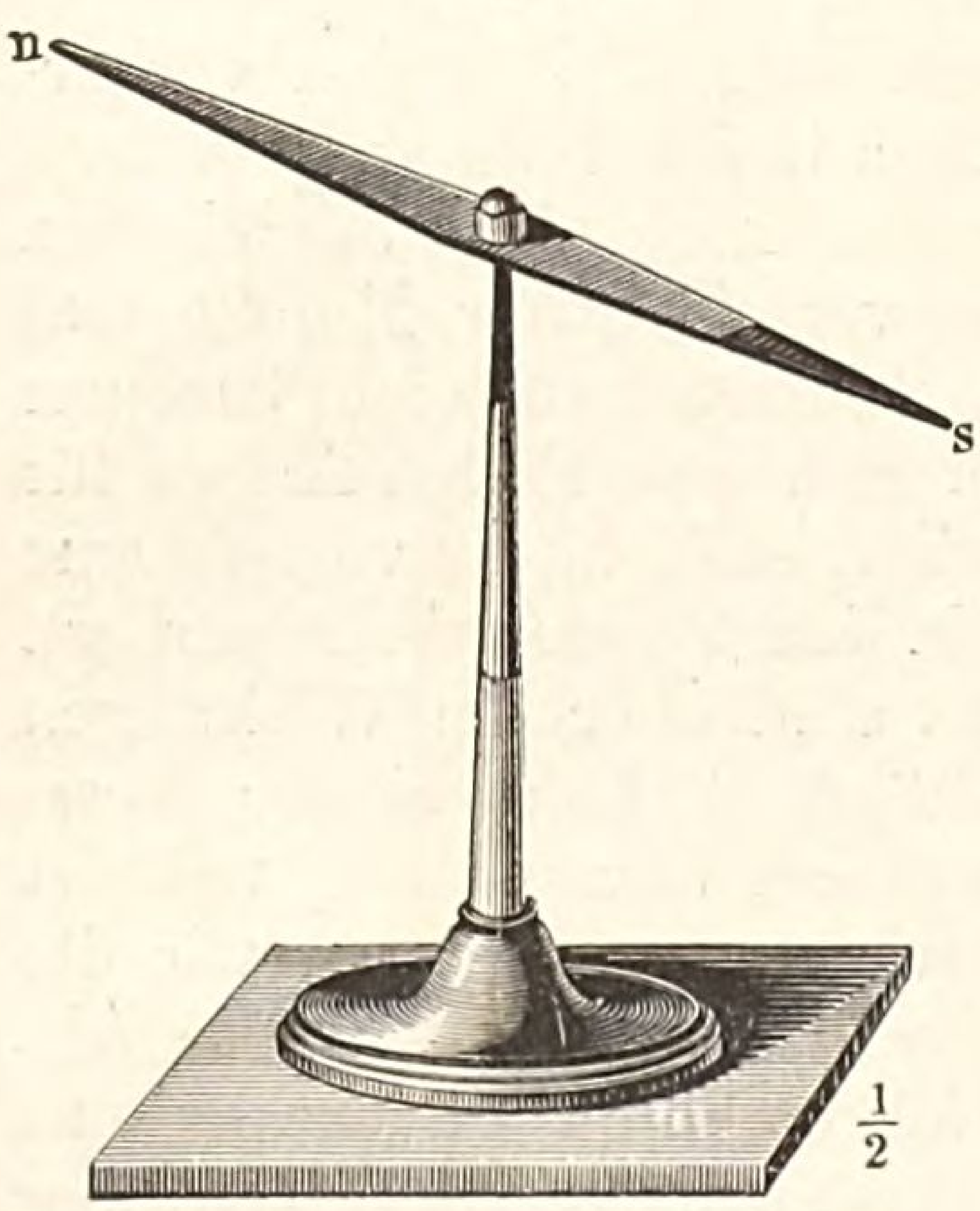
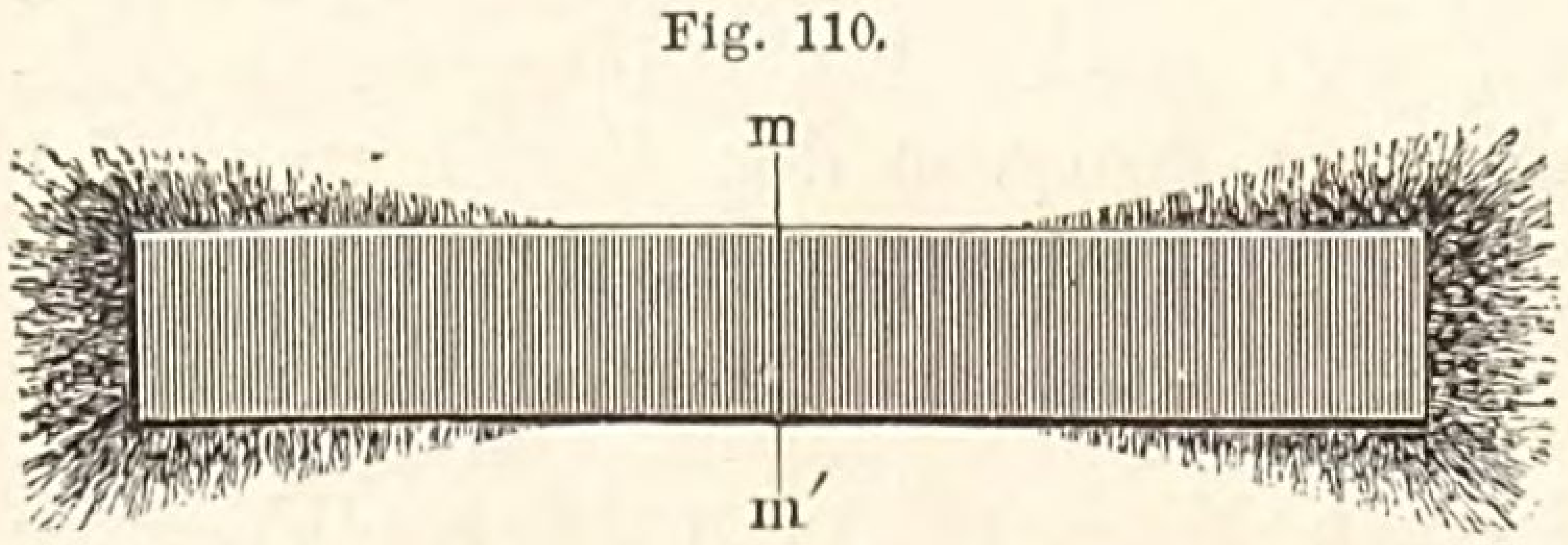


Fig. 109.



Wird ein influenzirtes Stück weichen Eisens von dem Magneten wieder entfernt, so hat es seinen Magnetismus vollständig verloren. Anders dagegen ist es mit dem Stahl. Ein durch Influenz magnetisirtes Stück Stahl behält immer ein wenig von seinem Magnetismus zurück, auch wenn es von dem influenzirten Körper entfernt ist. Man kann bekanntlich unmagnetische Stücke von weichem Eisen und von Stahl durch Bestreichen mit einem schon vorhandenen Magneten magnetisiren. Auch hierbei zeigt es sich, dass das weiche Eisen seinen Magnetismus sehr rasch verliert, während Stahl ihn behält. Man macht daher dauernde Magnete, sogenannte permanente Magnete, immer aus Stahl. Im Gegensatz zu den permanenten Magneten nennt man diejenigen, welche nur so lange magnetisch bleiben, als der influenzirende magnetische Körper in der Nähe ist, temporäre Magnete.

Fig. 110.



Man benutzt Magnete immer in verschiedenen bequemen Formen, entweder als Magnetnadeln, oder als Magnetstäbe, wie sie in Fig. 108 u. 109 abgebildet sind, oder auch als Hufeisenmagnete, wie in Fig. 111. (Bei dieser Figur ist zugleich gezeigt, wie sich Eisenfeilspähne an den Polen eines Hufeisenmagneten ablagern.) Ein jeder Magnet vermag weiches Eisen anzuziehen und mit einer gewissen Kraft angezogen zu erhalten. Man kann an das angezogene Stück Eisen, den **Anker**, wie man es nennt, Gewichte anhängen und diese werden dann mit von dem Magneten getragen. Je stärker ein Magnet ist, desto grösser ist seine Tragkraft. Die grösste Tragkraft haben bei sonst gleicher Menge Stahl die Hufeisenmagnete. Man legt, um sie möglichst wirksam zu machen, eine Reihe von hufeisenförmig geformten Stahlplatten, von denen jede einzelne ein Magnet ist, an einander, wie in Fig. 112, und schraubt diese einzelnen Platten zusammen. Ein solches System von einzelnen Hufeisenmagneten hat eine sehr bedeutende Tragkraft. Es kann z. B. ein solcher Hufeisenmagnet von 100 Kilo Gewicht 450 Kilo tragen, also $4\frac{1}{2}$mal so viel als sein eigenes Gewicht beträgt. Lange Zeit konnte man Eisen nur dadurch magnetisch machen, dass man es mit schon vorhandenen Magneten bestrich, oder es dessen Influenzwirkung aussetzte. Die Entwickelung unserer Kenntnisse von der Elektricität hat aber auch hierin eine vollständige Umwälzung hervorgebracht.

Fig. 111.

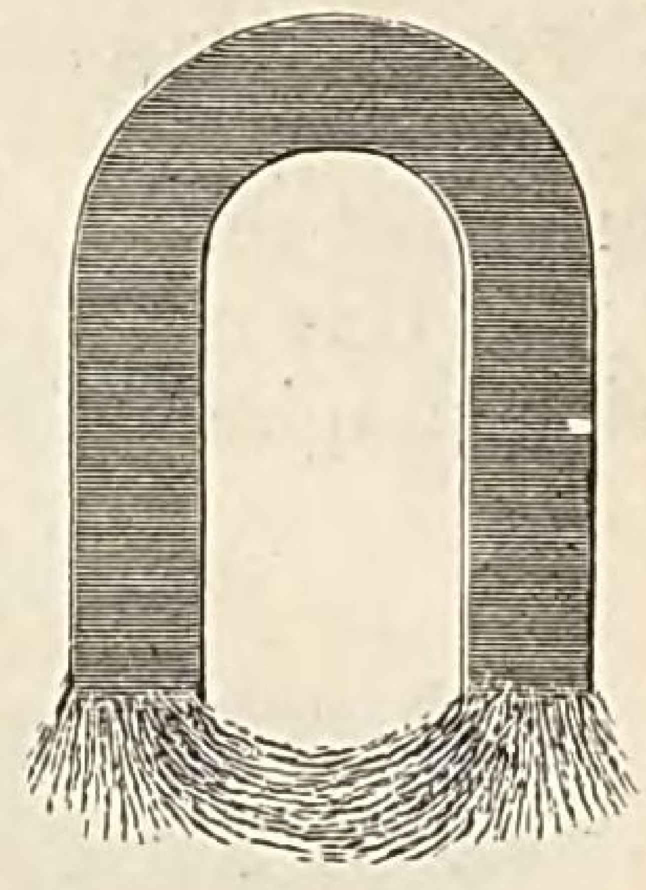
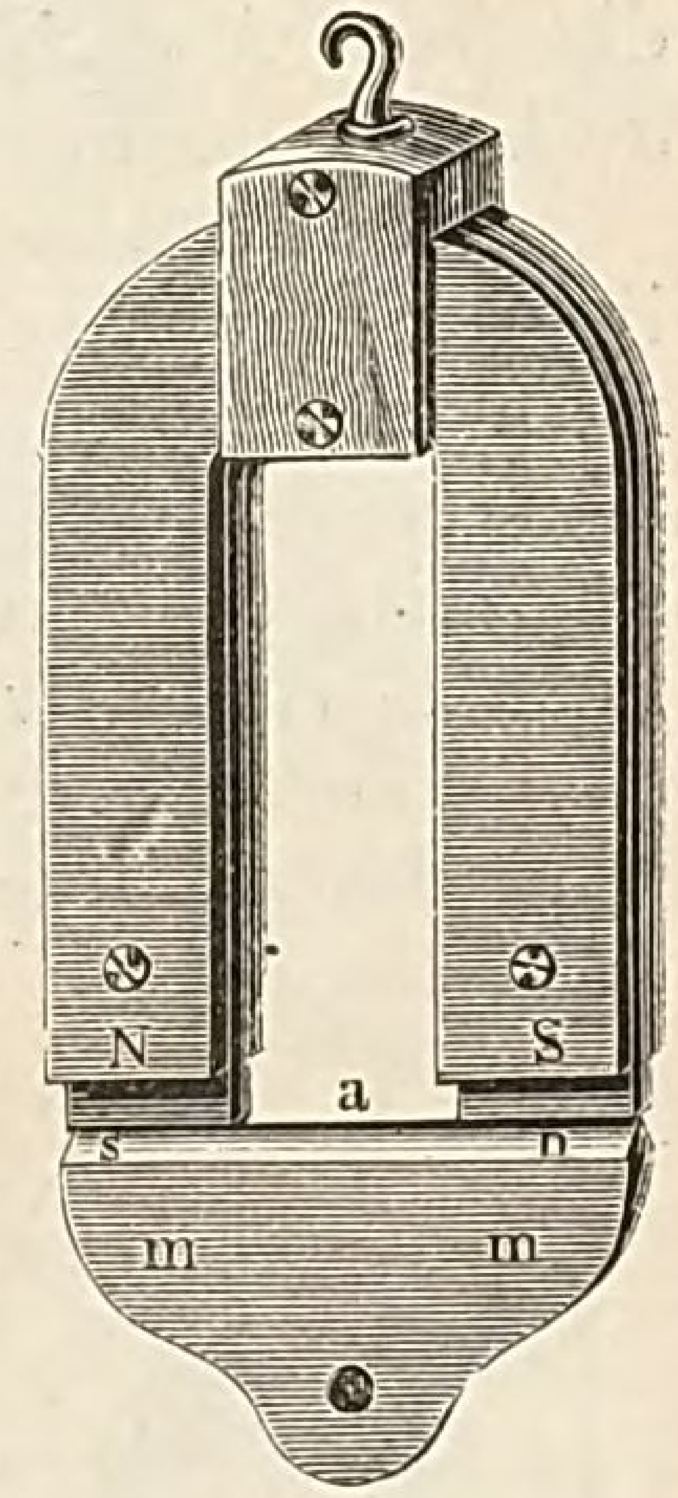
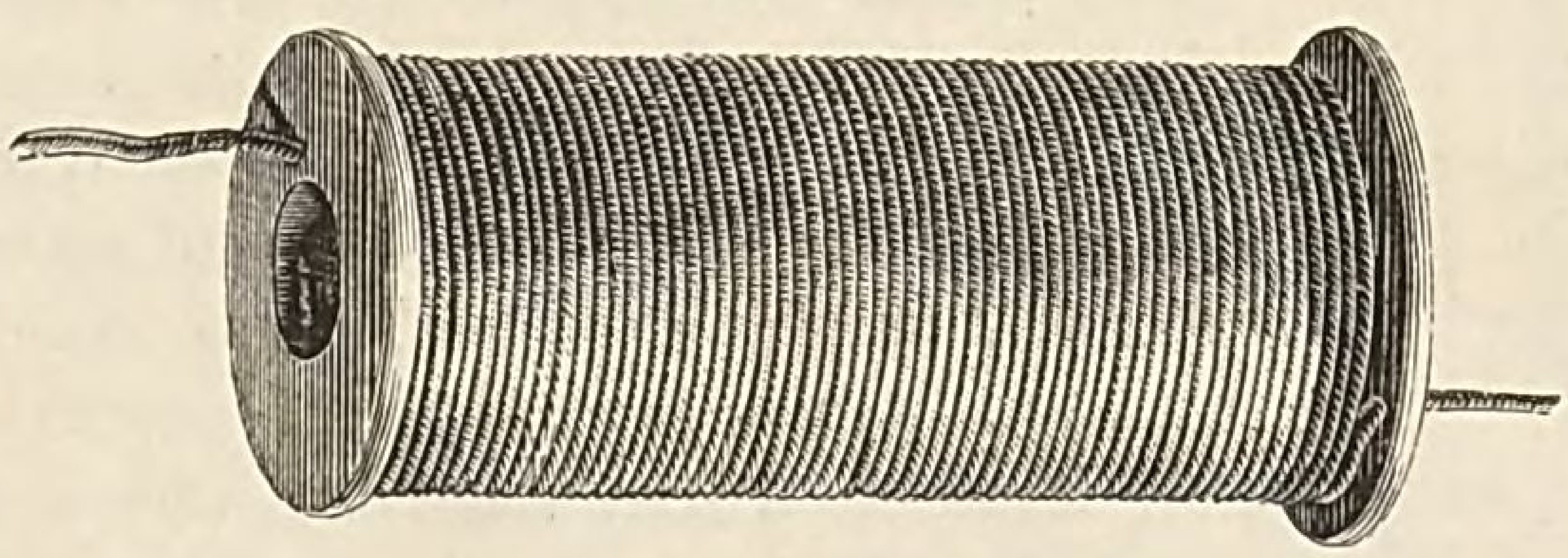


Fig. 112.



Wenn man einen galvanischen Strom, mag er kommen, woher er wolle, spiralförmig um einen unmagnetischen Stab weichen Eisens herumführt, so wird der Eisenstab magnetisch. Um den Versuch zweckmässig auszuführen, umwickelt man einen Hohlcylinder von Holz möglichst oft mit übersponnenem Draht, wie Fig. 113 zeigt. Die Enden dieser Drahtwindungen führen nach aussen und werden mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden. Es fliesst nun der Strom um diesen Cylinder in lauter

Fig. 113.

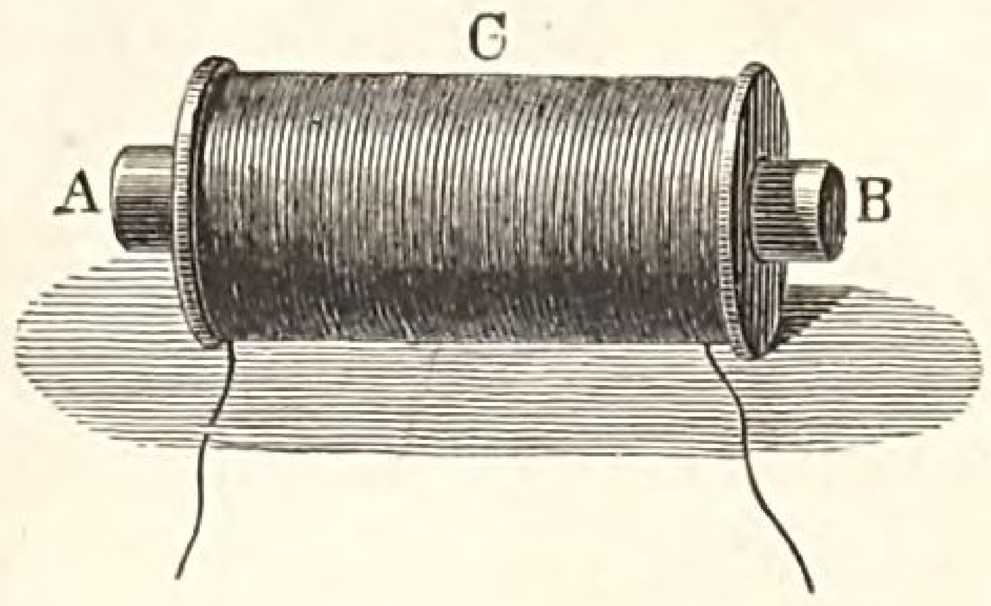


spiralförmigen Windungen. Wenn man nun in die Höhlung des Cylinders einen Stab unmagnetischen weichen Eisens hineinbringt, so wird der Stab ausserordentlich kräftig magnetisch, das eine Ende des Stabes

wird ein Nordpol, das andere ein Südpol. Man nennt deshalb einen solchen mit Draht umwickelten Cylinder eine Magnetisirungsspirale. Sowie man den Strom unterbricht, hört der Magnetismus in dem weichen Eisen auf. Das Eisen ist also nur durch die Wirkung des Stromes magnetisch geworden. Man nennt deshalb einen solchen Magneten, der durch den Strom erst magnetisch wird, einen Elektromagneten.

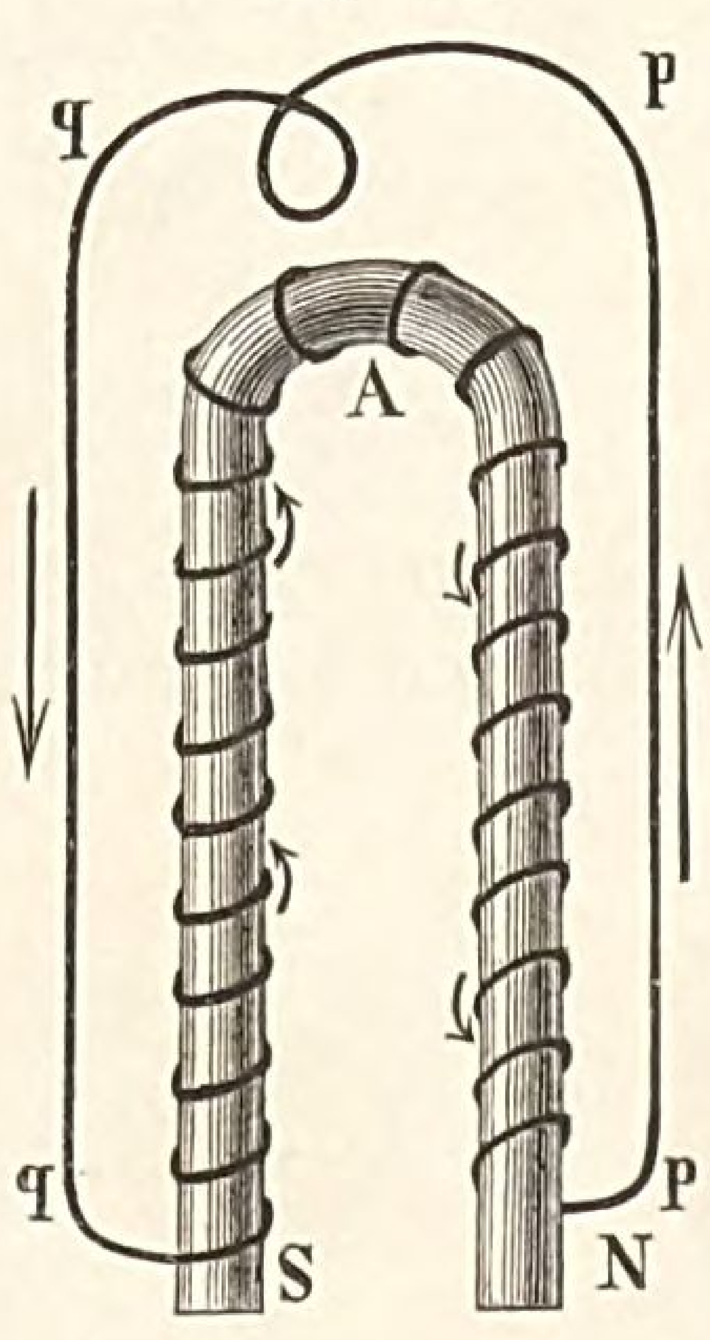
Hat man z. B. in Fig. 114 den Eisenstab A B in die Magnetisirungsspirale C hineingesteckt und leitet man nun einen Strom durch die Spirale, so wird das Eisen magnetisch und zieht anderes Eisen an. Unterbricht man den Strom, so wird der Stab AB unmagnetisch und das angezogene Eisen fällt wieder ab. Jeder Magnetstab hat einen Nordpol und einen Südpol; es fragt sich also, welches Ende des Stabes AB wird hier ein Nordpol, welches ein Südpol? Die Beantwortung dieser Frage wird durch eine Regel gegeben, die von Ampère ausgesprochen ist, und die die Ampère'sche Schwimmerregel heisst:

Fig. 114.



Denkt man sich in dem Draht der Magnetisirungsspirale in der Richtung des positiven Stromes schwimmend, so dass man mit dem Gesicht dem Magnetstab zugewendet ist, so ist immer dasjenige Ende des Stabes ein Nordpol, welches zur linken Hand liegt. Es wird also bei einer bestimmten Richtung des positiven Stromes das eine Ende des Stabes ein Nordpol, das andere ein Südpol. Kehrt man durch einen Commutator die Richtung des positiven Stromes in der Magnetisirungsspirale um, so wird auch der Magnetismus in AB umgekehrt; das Ende, das vorher ein Nordpol war, wird jetzt ein Südpol und umgekehrt.

Fig. 115.

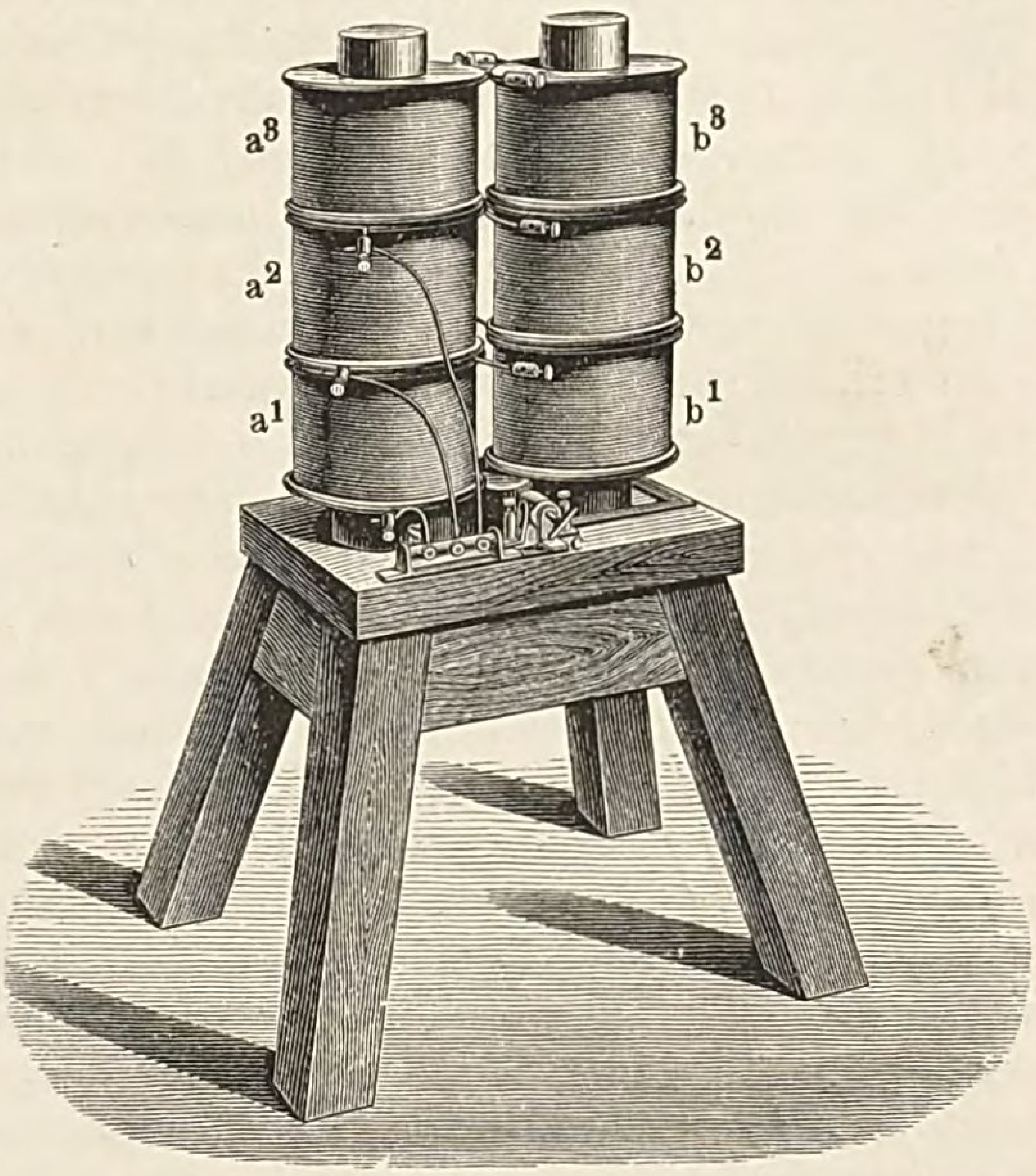


Ebenso wie man einen graden Stab von weichem Eisen magnetisiren kann, kann man auch einen hufeisenförmig gebogenen Stab magnetisiren. Man braucht nur den Stab oder seine Enden mit Draht spiralförmig zu umwickeln. Richtet man die Windungen so ein, wie sie in Fig. 115 gezeichnet sind, wo man sich denken kann, dass der Eisenstab erst grade und hinter einander nach derselben Richtung umwickelt war und dass er dann erst hufeisenförmig gebogen wurde, so zeigt die Anwendung der Ampèreschen Schwimmerregel, dass das Ende S, an welches der positive Strom zuerst herankommt, ein Südpol wird, während das andere Ende N ein Nordpol ist. Nachdem der Stab hufeisenförmig gebogen ist, scheinen die beiden Enden in entgegengesetzter Richtung umwickelt zu sein. Umwickelt man sie faktisch in entgegengesetzter Richtung, so dass sie dem Anschein nach in gleicher Richtung umwickelt sind, so werden die

beiden Enden des Hufeisens gleiche Pole, die entgegengesetzten Pole liegen dann in dem gebogenen Stück des Hufeisens.

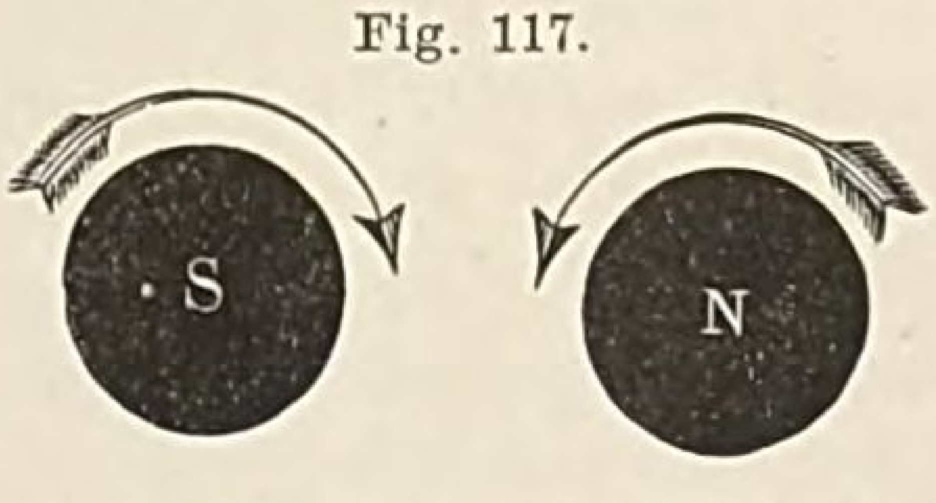
Auf diese Weise kann man also durch Herumsenden eines galvanischen Stromes um einen weichen Eisenkern ausserordentlich starke temporäre Magnete machen. Es ist in Fig. 116 eine oft benutzte Anordnung gezeichnet, welche zur Hervorbringung sehr starker Elektromagnete dient. Zwei dicke Cylinder aus weichem Eisen stehen auf einem festen Tisch, auf welchem sie durch eine Querplatte von Eisen verbunden sind. Um jeden von den Eisencylindern sind drei Magnetisirungsspiralen $a^1\,a^2\,a^3$ und $b^1\ b^2\ b^3$ geschoben, durch welche der Strom hindurchgesendet werden kann. Die Spiralen a^1 $a^2\ a^3$ und $b^1\ b^2\ b^3$ können nun nach Belieben so mit einander verbunden werden, dass die beiden herausragenden Enden des Eisencylinders entgegengesetzt magnetisch werden, der eine ein Nordpol, der andere ein Südpol, oder dass sie beide Nordpole oder beide Südpole werden. Die erste Anordnung ist die am meisten anwendbare und angewendete.

Fig. 116.



An dem Tisch sind gewöhnlich Klemmschrauben angebracht, um den Strom in die Magnetisirungsspiralen einleiten zu können, und ausserdem ein Commutator, welcher dazu dient, die Pole der Magnete rasch wechseln zu können, oder auch den Strom ganz zu unterbrechen und daher den Magnetismus des Eisens ganz aufzuheben. Wenn man die Spiralen so verbunden hat, dass das eine Ende des Hufeisens ein Nordpol, das andere ein Südpol ist, und man sieht die Enden von oben an, so fliesst der positive Strom um beide in entgegengesetzter Richtung und die Fig. 117 zeigt, in welcher Richtung der positive Strom um den Nordpol, in welcher er um den Südpol fliesst. Man kann sich durch Anwendung der Ampère'schen Schwimmerregel sofort überzeugen, dass die in der Figur gezeichnete Anordnung die richtige ist. Um stets sofort zu wissen, wie der Strom um einen Magnetpol fliesst, kann man sich merken, dass er um einen Südpol, von oben gesehen, in der Richtung fliesst, wie der Zeiger einer Uhr sich bewegt, um einen Nordpol entgegengesetzt dem Zeiger einer Uhr.

Fig. 117.



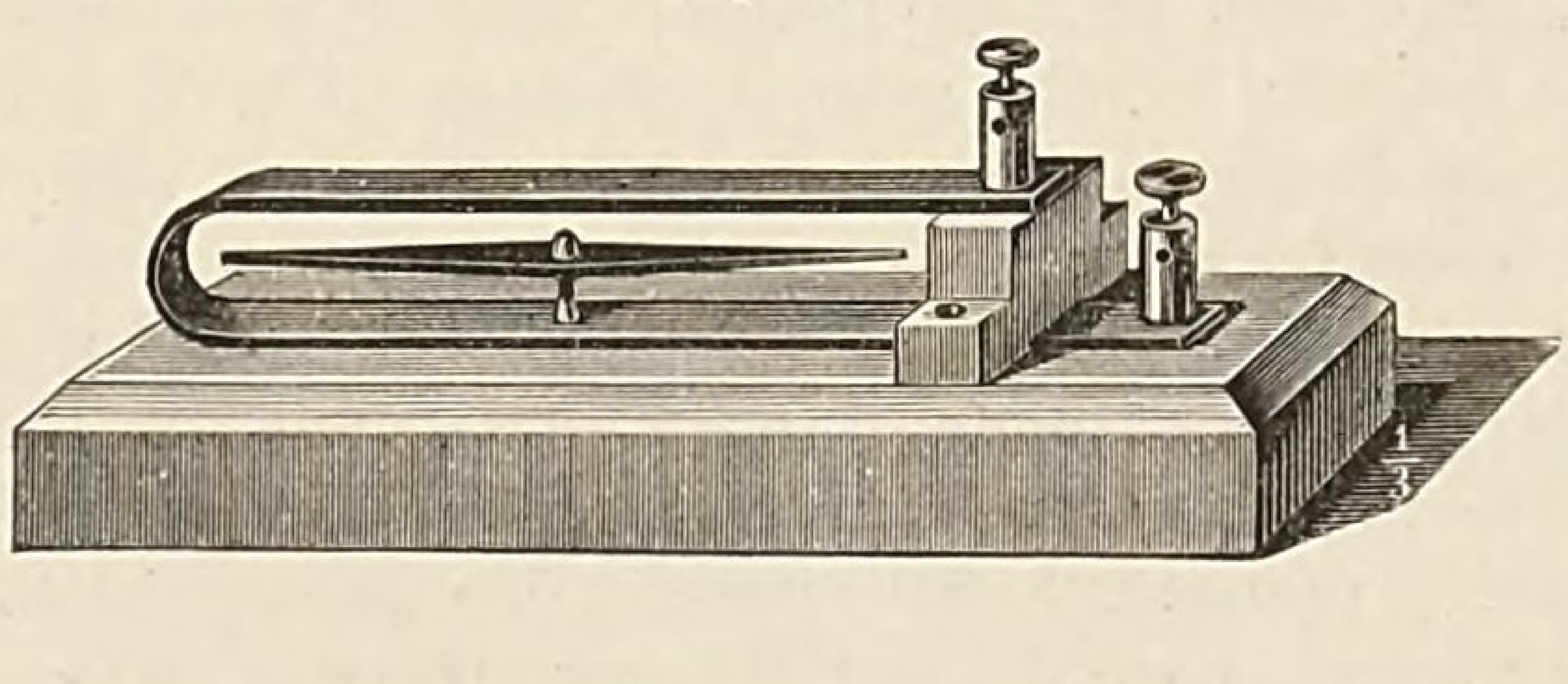
Sowie der Strom unterbrochen wird, hört der Magnetismus des Eisens auf. Doch ist das nicht ganz streng richtig. Es dauert nämlich immer eine gewisse kleine, aber messbare Zeit, bis der Magnetismus aus dem Eisenkern verschwunden ist. Man nimmt gewöhnlich an, dass in einem Eisenstücke die Moleküle alle ganz verschiedene Lagen und Richtungen haben und dass die Wirkung der Magnetisirung, mag sie nun durch Bestreichen mit einem Magneten oder durch Herumführen eines Stromes hervorgebracht sein, darauf beruht, dass alle Moleküle des Eisens sich in dieselbe Richtung stellen. Ein Magnet wäre demnach ein Stück Eisen, bei welchem alle Moleküle gleichgerichtet sind. Es wird weiter angenommen, dass beim Stahl es nicht leicht ist, diese Richtungsänderung hervorzubringen. Die Stahlmoleküle hängen so fest mit einander zusammen, dass jeder Richtungsänderung eine erhebliche Kraft entgegenwirkt. Man nennt diese Kraft, die der Richtungsänderung der Moleküle entgegenwirkt, die Coercitivkraft. Wenn also im Stahl eine erhebliche Coercitivkraft vorhanden ist, so ist es einleuchtend, dass ein Stück Stahl nicht leicht magnetisirt werden kann, sondern dass dies nur durch lange dauernde Einwirkung von magnetisirenden Kräften geschehen kann. Ebenso ist es aber auch einleuchtend, dass, wenn ein Stahlstück magnetisirt ist, es magnetisch bleiben muss. Denn die Coercitivkraft hindert die Moleküle wieder, in ihre alten unregelmässigen Lagen zurückzukehren, sie bleiben also gleich gerichtet, das Stahlstück bleibt magnetisch. Anders ist es bei dem weichen Eisen. Bei diesem ist die Coercitivkraft sehr gering, fast verschwindend. In Folge dessen wird weiches Eisen sofort magnetisch, wenn eine magnetisirende Kraft auf dasselbe wirkt, in Folge dessen wird es aber auch bald wieder unmagnetisch, wenn die magnetisirende Kraft aufhört. Nun ist aber selbst weiches Eisen nicht ganz ohne Coercitivkraft, wenn dieselbe auch sehr viel geringer ist als beim Stahl. In Folge dessen wird auch weiches Eisen nicht sofort in voller Stärke magnetisch, wenn der magnetisirende Strom geschlossen wird, sondern die volle Stärke entwickelt sich erst in einiger Zeit, die allerdings nur ein Bruchtheil von einer Sekunde ist. Ebenso wird auch weiches Eisen nicht sofort nach dem Aufhören des magnetisirenden Stromes ganz unmagnetisch, sondern es verliert seinen Magnetismus erst allmählich, wenn auch in sehr kurzer Zeit. Es tritt diese Eigenschaft bei einer Reihe von Maschinen störend auf und man muss mit dieser Eigenschaft selbst des weichsten Eisens in manchen Fällen rechnen.

Auch eine zweite Erscheinung, die bei Elektromagneten auftritt und oft störend wirkt, erklärt sich durch dieselbe Wirkung der Coercitivkraft. Da nämlich auch im weichsten Eisen dem magnetisirenden Richten der Moleküle sich ein gewisser Widerstand durch die Coercitivkraft entgegenstellt, so muss der Strom, wenn er die Moleküle richtet, auch diesen Widerstand überwinden. Man muss also dem Eisenkörper eine gewisse Arbeitsmenge zuführen, um diesen Widerstand überwinden zu können. Man kann sich den Vorgang so vorstellen, als ob die Moleküle des Eisens bei ihrer Drehung, bei ihrer Richtungsänderung sich reiben. Bei jeder Reibung aber, bei jedem Ueberwinden eines Widerstandes wird, wie in der Lehre von der Wärme ausführlich ge-

zeigt wird, Wärme entwickelt. Es muss daher auch in weichem Eisen durch das Magnetisiren und Entmagnetisiren Wärme entwickelt werden. Wird der Strom nur einmal geschlossen und dadurch der Magnetismus in dem Eisen erregt, so ist diese Erwärmung des Eisens unmerkbar. Die entwickelte Wärmemenge ist so klein, dass sie die Temperatur des Eisens nicht merklich verändern kann. Wenn aber, wie dies bei elektrischen Maschinen meistentheils geschieht, der Strom sehr rasch hinter einander geschlossen und geöffnet, wieder geschlossen und wieder geöffnet wird, oder wenn gar der Strom rasch hinter einander immerfort commutirt wird, so dass der Magnetismus des Elektromagnets sich fortwährend rasch hinter einander umkehrt, so wird bei jedesmaligem Oeffnen und Schliessen oder Commutiren des Stromes eine gewisse, wenn auch kleine Wärmemenge erzeugt und diese kleinen Mengen summiren sich alle, so dass schliesslich die Temperatur des Eisens ganz erheblich gesteigert wird, dass das Eisen sich sehr stark erhitzt. Es ist dies ein Uebelstand, der bei den elektrischen Maschinen sehr störend auftritt, wie wir später sehen werden.

Der elektrische Strom hat also, wie wir gesehen haben, die Eigenschaft, Eisen, um welches er spiralförmig herumgeführt wird, zu magnetisiren. Doch ist dies nur eine der magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes, während er noch in mannigfacher anderer Weise auf Magnete wirkt. Wir haben schon häufig von den Eigenschaften der Galvanoskope und Galvanometer Gebrauch gemacht, um aus diesen das Vorhandensein und die Stärke eines elektrischen Stromes zu erkennen und zu messen. Es beruhte diese Eigenschaft der Galvanometer darauf, dass eine Magnetnadel unter dem Einfluss des elektrischen Stromes aus der ihr eigenthümlichen Richtung, der Nord-Südrichtung, abgelenkt wird. Oerstedt, Professor in Kopenhagen, war es, welcher zum ersten Male die Entdeckung machte, dass unter dem Einfluss eines elektrischen Stromes, der durch seinen Stromkreis fliesst, eine in der Nähe befindliche Magnetnadel aus ihrer Richtung abgelenkt wurde. Führt man durch den kupfernen Bügel in Fig. 118 mittelst der beiden Klemm-

Fig. 118.



schrauben einen galvanischen Strom, so wird die innerhalb des Bügels befindliche Magnetnadel abgelenkt. Sie würde auch abgelenkt werden, wenn sie oberhalb oder unterhalb oder zur Seite des vom Strome durchflossenen Bügels sich befinden würde. Die wichtigsten Fragen bei dieser Erscheinung sind nun offenbar die beiden: 1) nach welcher Richtung wird die Magnetnadel durch einen Strom abgelenkt? 2) von welchen Umständen hängt die Grösse der Ablenkung ab?

Führt man den Strom, der durch den Bügel in der letzten Figur geht, erst durch einen Commutator, so findet man, dass bei jeder Umkehrung der Richtung des Stromes auch die Nadelablenkung umgekehrt wird. Ging der Nordpol das eine Mal nach rechts aus dem Bügel heraus, so geht er beim Umkehren des Stromes nach links aus dem Bügel heraus. Die Richtung, nach welcher eine Magnetnadel abgelenkt wird, hängt also von der Richtung des Stromes ab, der auf sie wirkt. Nun hat Ampère gefunden, dass hierbei ganz dieselbe Schwimmerregel gilt, welche bei der Magnetisirung von Eisenkörpern gültig war. Denkt man sich in der Richtung des positiven Stromes schwimmend, mit dem Gesicht zur Magnetnadel zu, so wird der Nordpol der Magnetnadel nach links abgelenkt.

Eine Magnetnadel, die von einem Strome beeinflusst und abgelenkt wird, steht also unter dem Einfluss zweier Kräfte. Erstens wirkt auf sie der Erdmagnetismus, welcher sie immer in die bestimmte Süd-Nordrichtung zu zwingen sucht. Zweitens wirkt auf sie der Strom, welcher sie aus dieser Richtung abzulenken sucht. Ein jeder Strom übt eine Kraft auf eine Magnetnadel aus, welche diese senkrecht zum Strom zu drehen strebt. Wäre der Erdmagnetismus nicht vorhanden, so würde der schwächste Strom schon die Magnetnadel so drehen, dass sie senkrecht zu der Richtung des Stromes steht. Da der Erdmagnetismus aber die Nadel in der Nord-Südrichtung zu halten und, wenn sie aus dieser abgelenkt ist, sie in dieselbe zurückzuführen sucht, so ist die Ablenkung der Nadel aus der Nord-Südrichtung nur so gross, dass die Kraft des Erdmagnetismus und die Kraft des Stromes sich das Gleichgewicht halten.

Die Grösse der Kraft, welche von einem Strom auf einen Magnetpol ausgeübt wird, hängt, wie experimentelle Untersuchungen gezeigt haben, direkt ab von der Stärke des Stromes. Unter sonst gleichen Umständen übt ein Strom von 2 Ampère Stärke eine doppelt so grosse Kraft auf einen Magnetpol aus, wie ein Strom von 1 Ampère. Ferner aber hängt die Grösse der Kraft auch ab von der Entfernung des Stromes von dem Magnetpol. Um das Gesetz dafür aussprechen zu können, kann man sich am einfachsten jeden Stromkreis in eine sehr grosse Menge kleiner Theile zerlegt denken. Da ja die Stromkreise meistentheils aus Drähten bestehen, so kann man sich einen solchen aus einer ausserordentlich grossen Menge von kurzen Drähten zusammengesetzt denken. Ein jedes solches kurzes Stück nennt man dann ein Stromelement oder einen Elementarstrom. Die Länge eines Stromelements ist eine sehr geringe. Man kann sich nun vorstellen, dass die gesammte Kraft, welche der ganze geschlossene Strom auf einen Magnetpol ausübt, die Summe ist von allen den Kräften, welche die einzelnen Elementarströme auf ihn ausüben. Das Gesetz, das für einen solchen Elementarstrom gilt, ist nun ein sehr einfaches. Man nennt es das Biot-Savart'sche Gesetz, da es von diesen beiden Forschern gefunden wurde. Die Kraft, welche ein solches Element auf einen Pol ausübt, ist gleich der Länge des Elements, multiplicirt mit der Stärke des Stromes, von dem es durchflossen wird, und dividirt durch das Quadrat der Entfernung

des Stromelements vom Pol. Ausserdem hängt natürlich die Kraft auch ab von der Stärke des Magnetpoles, auf welchen sie wirkt. Sie ist dieser direkt proportional.

Dieses Gesetz zeigt also, dass das Produkt aus der Länge eines Elements, der Stromintensität und der Stärke eines Magnetpols, dividirt durch das Quadrat einer Entfernung, gleich einer Kraft ist. Da die Einheit der Kraft durch die Mechanik bestimmt ist, so kann man, wenn man für die Stärke von Magnetpolen eine Einheit festgesetzt hat, daraus eine Einheit für die Stromstärke finden. Dies hat man in der That gethan, und die auf diese Weise definirte Einheit nennt man die elektromagnetische Einheit der Stromstärke. Unsere Stromeinheit, 1 Ampère, ist grade das Zehnfache dieser so definirten Einheit. In Kap. 9 ist das Nähere über diese Einheiten enthalten.

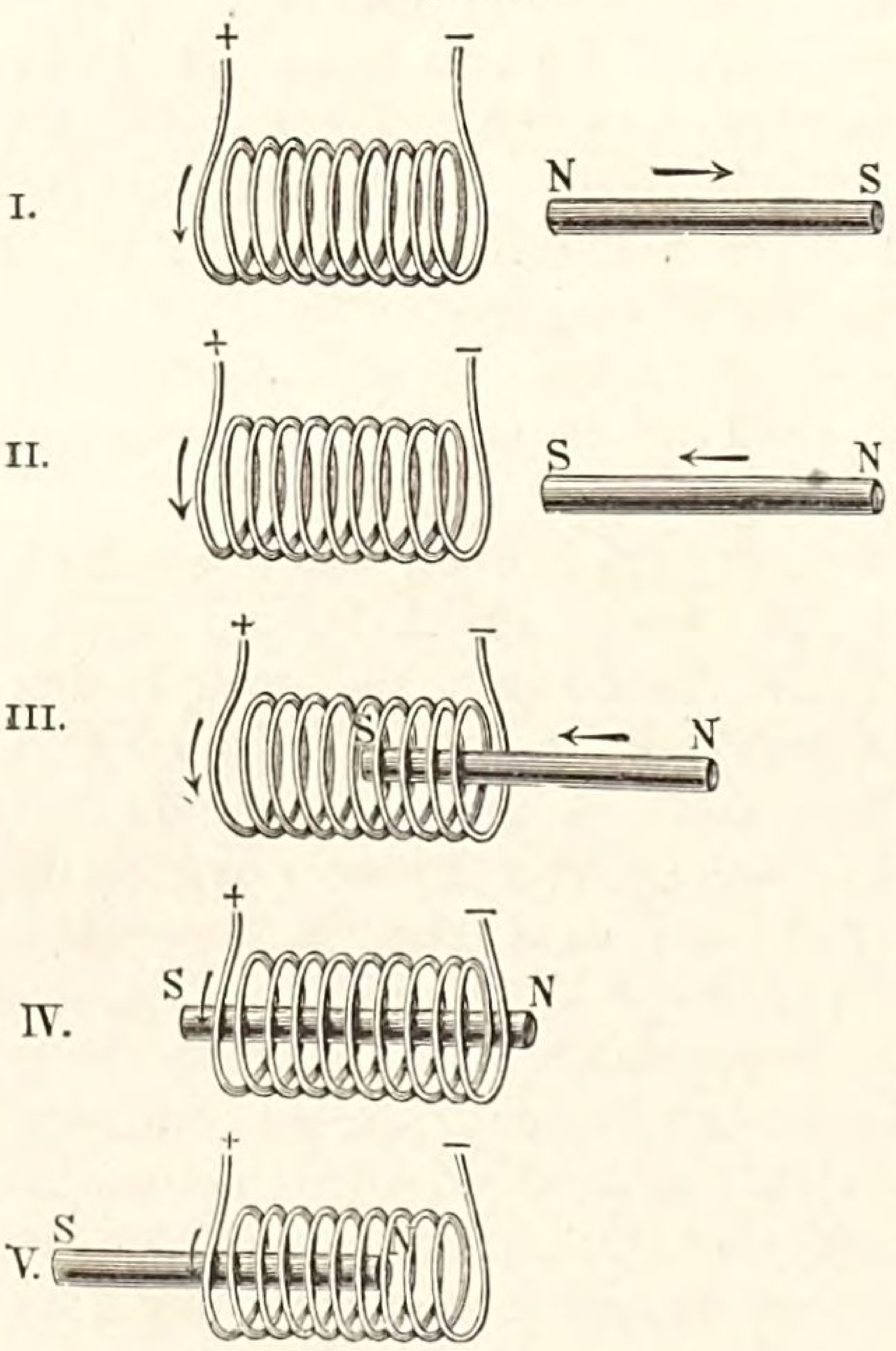
Grade auf dieser elektromagnetischen Wirkung des Stromes und auf dem Biot-Savart'schen Gesetz basiren alle Apparate, die zur Strommessung benutzt werden, die Bussolen und Galvanometer. Wir werden diese bald im Zusammenhang beschreiben.

Wenn aber die Magnetnadel nicht nur sich drehen kann, sondern wenn sie sich auch sonst bewegen kann, wenn sie z. B. auf einem Kork befestigt auf Wasser schwimmt, so bekommt sie ausser der Drehung auch noch eine andere Bewegung unter dem Einfluss eines Stromes. Ein Stromkreis nämlich übt auch Anziehungs- und Abstossungskräfte auf einen Magnetstab, eine Magnetnadel aus, nicht blos richtende Kräftewirkungen, die sich aus dem eben angeführten Kraftgesetze ableiten lassen. Es lassen sich diese Wirkungen am besten zeigen, wenn man dem Stromkreis die Form einer Spirale giebt.

Befindet sich ein beweglicher Magnetstab in der Nähe einer festen Drahtspirale, so treten zwei Wirkungen ein; erstens nämlich sucht sich der Magnet senkrecht zu der Ebene des Stromkreises, also der einzelnen Spiralkreise zu stellen, d. h. der Magnet stellt sich in Richtung der Axe der Spirale, zweitens aber, und das ist die Wirkung des Stromes auf den Magneten, die wir jetzt besprechen wollen, wird der Magnet entweder in die Spirale hineingezogen, oder von ihr abgestossen. Eine Drahtspirale, durch welche ein Strom fliesst, übt also auf einen Magnetstab ganz ebenso Anziehungs- und Abstossungskräfte aus wie ein Magnet. Man nennt eine solche von einem Strom durchflossene Drahtspirale ein Solenoid, und kann alle Erscheinungen ganz einfach beschreiben, wenn man sich das Solenoid auch als einen Magneten denkt. Ein jeder Magnet hat zwei Pole. Diesen entsprechen bei einem Solenoid die beiden Endflächen. Dasjenige Ende eines rechts gewundenen Solenoids, in welches der positive Strom zuerst eintritt, verhält sich wie ein magnetischer Südpol, dasjenige, aus welchem der positive Strom austritt, wie ein Nordpol. So verhalten sich in den 5 Figuren in 119 diejenigen Enden der Spiralen, der Solenoide, welche mit + bezeichnet sind, in welchen also der positive Strom (der durch die Pfeile angedeutet ist) zuerst ankommt, wie Südpole von Magneten, die anderen mit — bezeichneten Solenoidenden verhalten sich wie Nordpole. Mit dieser Auffassung von Solenoiden nun kann man sofort übersehen, wie die Magnetstäbe NS, die wir uns frei beweglich denken, sich verhalten werden.

In der Fig. I ist der Nordpol des Magnetstabes am nächsten an demjenigen Ende des Solenoids, welches sich auch wie ein Nordpol verhält. Folglich muss der Magnetstab von der Spirale abgestossen werden. Denn wenn auch das +Ende des Solenoids den Nordpol N und ebenso das —Ende des Solenoids den Südpol S anzieht, so sind doch diese Anziehungswirkungen, weil sie in grösserer Entfernung stattfinden, geringer als die Abstossungswirkung zwischen dem —Ende des Solenoids und dem Nordpol N. Der Magnetstab wird also von der Spirale abgestossen.

Fig. 119.

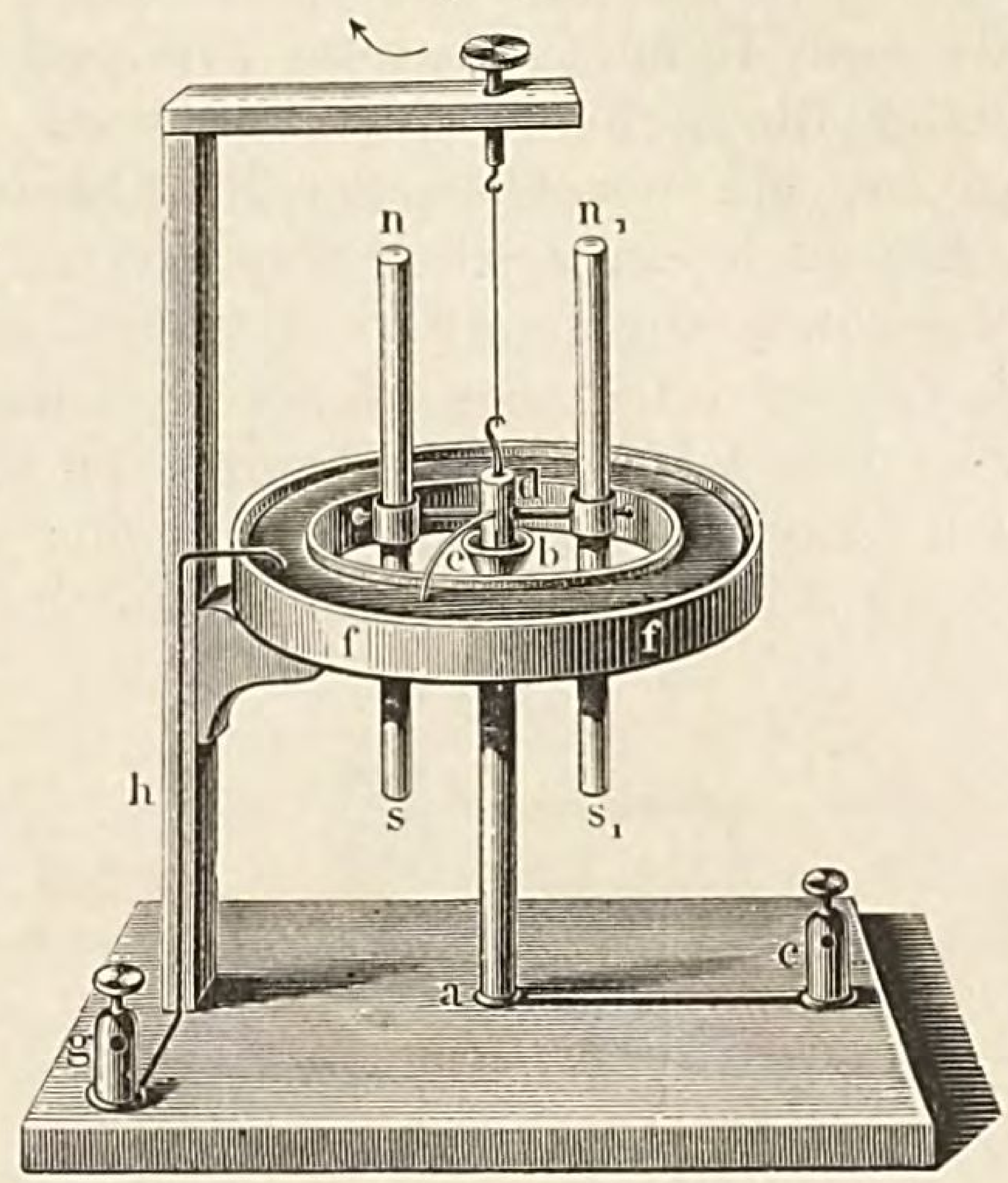


Umgekehrt ist es in Fig. II. Dort zieht das —Ende des Solenoids (welches sich ja wie ein Nordpol verhält) den ihm am nächsten liegenden Südpol S am stärksten an, der Magnetstab wird also in die Spirale hineingezogen. Nun üben aber nicht blos die Enden eines Solenoids Anziehungs- und Abstossungskräfte auf einen Magneten aus, sondern alle einzelnen Windungen desselben. Es wird in Folge dessen der Magnetstab, wenn er sich so befindet, wie es die Fig. III zeigt, noch weiter in die Spirale hineingezogen, bis er schliesslich in die Lage Fig. IV kommt. In dieser stösst das —Ende den Nordpol ebenso ab, wie das +Ende den Südpol, und in Folge dessen bleibt der Magnetstab in dieser Lage im Gleichgewicht, und wenn er wie in Fig. V durch die Spirale theilweise hindurchgezogen worden ist, so wird er von der Spirale wieder zurückgezogen, bis seine Mitte wieder mit der Mitte der Spirale zusammenfällt. Ist der Stab N S nicht von vornherein ein Magnet, sondern ein Stab aus weichem, unmagnetischem Eisen, so wird er zuerst von dem Strom in der Spirale magnetisirt und dann durch die Kräfte des Stromes angezogen. Eine Spirale zieht also immer einen Stab aus weichem Eisen in sich hinein, bis seine Mitte mit der Mitte der Spirale zusammenfällt, wie in Fig. IV.

Da ein galvanischer Strom von einer bestimmten Richtung auf den einen Pol eines Magneten anziehend, auf den andern abstossend wirkt, so kann man von vornherein schon vermuthen, dass es möglich sein wird, durch eine geschickte Combination von Magneten und Stromkreisen es dahin zu bringen, dass ein Magnet dauernd um einen elektrischen Strom herumrotirt. Eine genaue mathematische Untersuchung zeigt, dass dazu nöthig ist, dass wenigstens ein Theil des Stromkreises mit dem rotirenden Magneten fest verbunden ist, also sich mit diesem bewegt. Es hat nun zuerst Faraday wirklich eine Anordnung getroffen, bei welcher sich ein Magnet oder ein Magnetpaar dauernd

um einen elektrischen Strom herumdreht. Diese Anordnung sieht man in Fig. 120. Es sind die beiden Magnetstäbe n s und n_1 s_1, welche rotiren. Der galvanische Strom wird durch die Klemme c eingeführt und steigt in dem Metallstab a b auf. Da ein Theil des Stromes mit den Magneten sich bewegen muss, so taucht ein Metallstück d, an welchem die Magnete befestigt sind, in das Schälchen mit Quecksilber, welches das Ende von b bildet. Das Metallstück d trägt dann noch den Draht e, welcher in die mit Quecksilber gefüllte Rinne f f taucht. Es fliesst also der Strom von c durch a b in das drehbare Metallstück d und von diesem durch den Draht e in das Quecksilber bei f, von wo aus er durch den Draht h zur Klemme g und von da zum Element zurückgeführt wird. Der Stromtheil d e f ist also beweglich, und es fängt nun, sowie der Strom fliesst, das Magnetpaar an, sich zu drehen, und dreht sich so lange, bis der Strom unterbrochen wird.

Fig. 120.



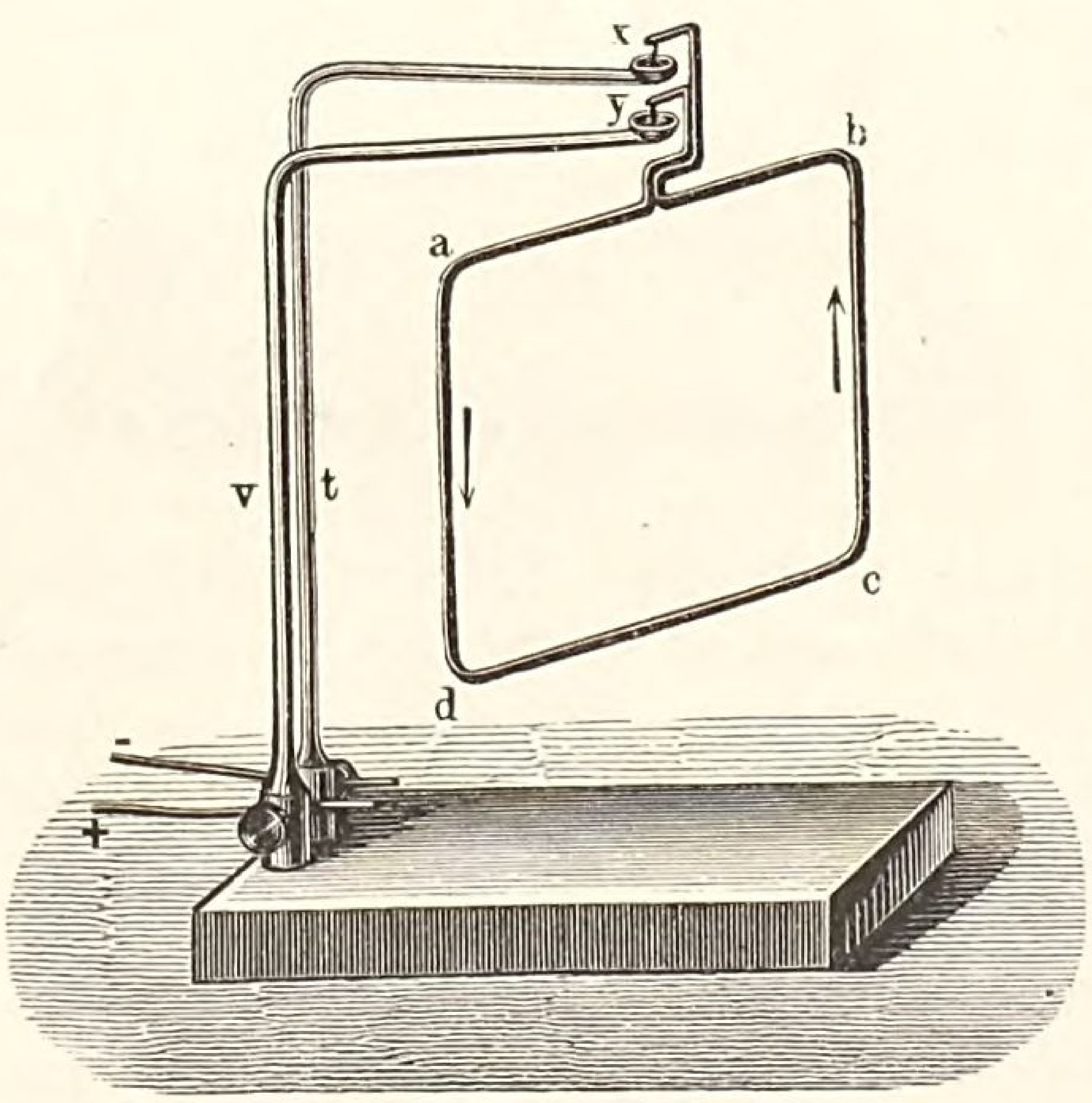
Man kann sich sofort durch Anwendung der Ampère'schen Schwimmerregel überzeugen, dass die Magnete sich drehen müssen, und auch einsehen, nach welcher Richtung die Rotation stattfinden muss. Denkt man sich nämlich den positiven Strom z. B. in der Richtung c a b fliessend, so steht also der Ampère'sche Schwimmer in a b aufrecht, und wenn er den Magneten n s ansieht, so muss dessen Südpol nach hinten, wenn er aber n_1 s_1 ansieht, so muss dessen Südpol nach vorn aus der Ebene der Figur abgelenkt werden, die Ablenkung der Südpole muss also bei beiden nach entgegengesetzten Richtungen gehen. Es greift also an dieses Magnetpaar ein Kräftepaar an, und ein Kräftepaar bringt ja immer eine Rotation hervor. Man kann diese Rotation von Magneten um Ströme noch auf verschiedene Weise variiren, und es sind auch diese Apparate im Kleinen angewendet worden, um mittelst galvanischer Elemente Rotationsbewegungen zu erhalten. Alle diese Wirkungen der Elektricität auf Magnete lassen sich, wie wir im nächsten Kapitel sehen werden, zurückführen auf die Wirkung von galvanischen Strömen auf einander.

Ganz ebenso, wie ein galvanischer Strom auf einen Magneten ablenkend und drehend wirkt, wirkt auch ein Magnet auf einen galvanischen Strom.

Wir haben in der Fig. 119 eine Reihe von Solenoiden und Magneten betrachtet, welche in gewissen Lagen gegen einander waren und welche Anziehungs- oder Abstossungskräfte auf einander ausübten. Wir haben damals angenommen, dass die Solenoide fest aufgestellt

seien und die Magnete frei beweglich, und wir konnten nun die Erscheinungen vollständig dadurch erklären, dass wir sagten, ein Solenoid verhalte sich ganz ebenso wie ein Magnetstab. Ein Solenoid ist ja weiter nichts als ein spiralförmig gewundener Draht. Man kann es als eine Reihe von kreisförmigen Strömen auffassen, welche in einander übergehen. Wenn nun ein Solenoid oder überhaupt ein Kreisstrom, ein geschlossener Stromkreis sich wie ein Magnet verhält, so muss auch ein solcher Stromkreis, wenn er beweglich ist, durch einen Magneten abgelenkt werden. Es ist, um dies zu untersuchen, die erste Aufgabe, einen Stromkreis herzustellen, der frei beweglich ist, oder von dem wenigstens einzelne Theile frei beweglich sind. Dies wurde von Ampère erreicht durch das nach ihm benannte Ampère'sche Gestell. Ampère liess nämlich den Drahtkreis, dessen Bewegung untersucht werden sollte, mit Spitzen in Näpfchen tauchen, die mit Quecksilber gefüllt waren. Die Näpfchen waren auf leitenden Trägern befestigt. Die Fig. 121 giebt eine Ansicht eines solchen Ampère'schen Gestells.

Fig. 121.



Der Strom führt in die beiden metallischen Träger v und t, welche an ihrem oberen Ende Quecksilbernäpfe x und y tragen. In diese wird nun der bewegliche Stromkreis a b c d vermittelst Spitzen eingetaucht und kann sich also um diese Spitzen beliebig drehen, wenn er unter dem Einfluss von Kräften steht. Man kann entweder das Stromviereck a b c d in Fig. 121 in das Gestell hängen, oder den runden Stromkreis in Fig. 122, oder die Spirale Fig. 123, welche dann ein drehbares

Fig. 122.

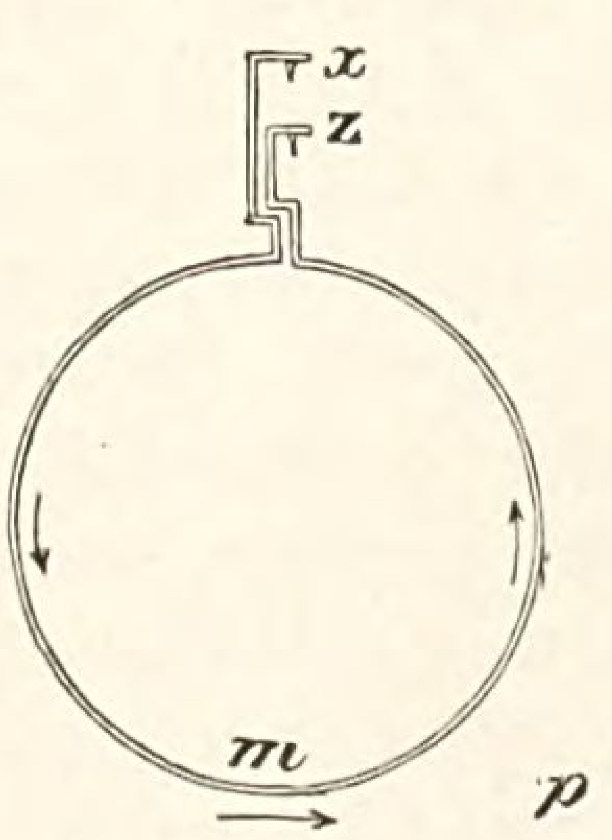
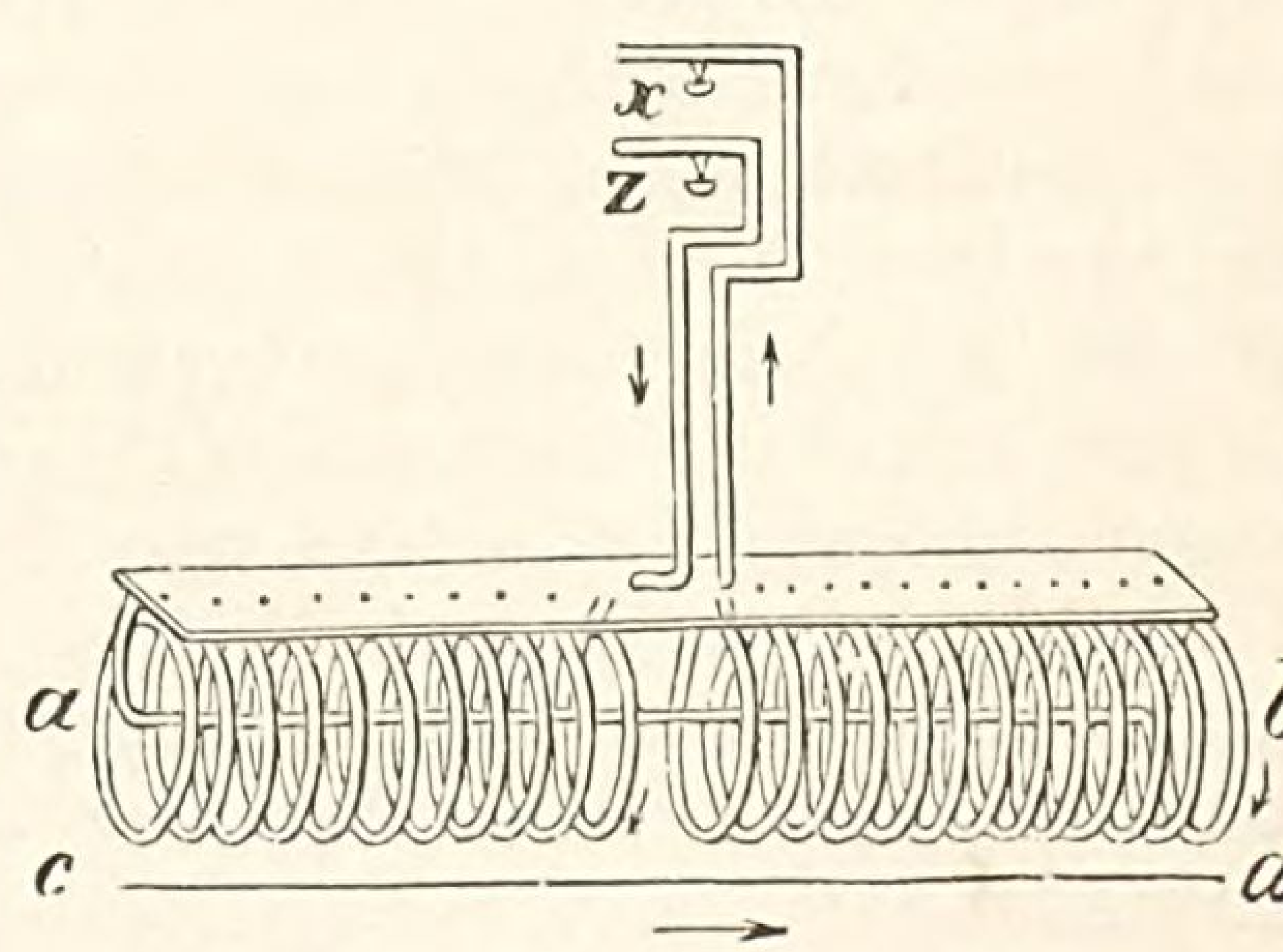


Fig. 123.



Solenoid ist. Sowie man dann einen Magneten in die Nähe eines solchen drehbaren Stromkreises bringt, stellt sich der Stromkreis in eine bestimmte Lage gegen den Magneten, und zwar immer so, dass

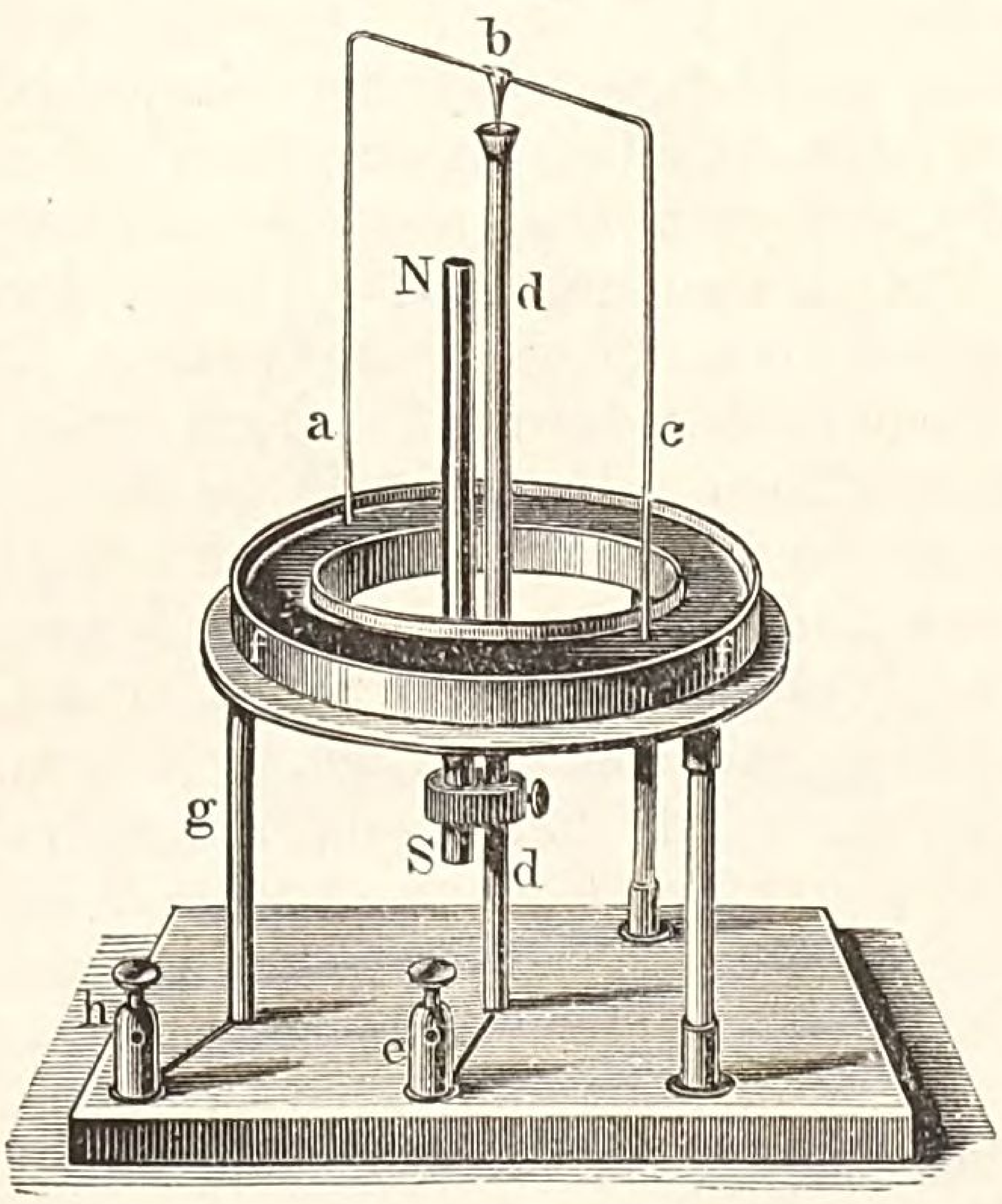
die Ebene des Stromkreises senkrecht steht gegen die Axe des Magnets, dass also die Axen des Magnets und des Solenoids in einer Linie liegen. Es wird also ein solcher drehbarer Stromkreis durch die Wirkung eines Magnets ganz ebenso gerichtet, wie eine Magnetnadel. Folglich, das kann man sofort schliessen, muss auch der Erdmagnetismus auf einen solchen Stromkreis einwirken, ganz ebenso wie er auf eine Magnetnadel einwirkt. Ebenso wie eine Magnetnadel sich von Norden nach Süden stellt, in die Richtung des magnetischen Meridians der Erde, ebenso muss sich auch ein drehbarer Stromkreis unter dem Einfluss des Erdmagnetismus mit seiner Axe in die Nordsüdrichtung stellen. Und dies ist in der That der Fall. Ein solcher Stromkreis nimmt, wenn er drehbar aufgehängt ist, von selbst eine ganz bestimmte Stellung ein. Er stellt sich nämlich so, dass seine Ebene senkrecht steht auf dem magnetischen Meridian. Die beiden vertikalen Theile des Drahtes a b c d in Fig. 121 liegen dann also der eine im Osten, der andere im Westen, und zwar steht stets dasjenige Drahtstück im Westen, in welchem der positive Strom nach oben fliesst. Der Drahtring Fig. 122 stellt sich ebenfalls, wenn er drehbar aufgehängt ist, unter dem Einfluss des Erdmagnetismus so, dass der auf der rechten Seite der Figur gezeichnete Theil nach Westen zu liegen kommt, wenn der positive Strom in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung den Drahtkreis durchfliesst. Durchfliesst er ihn in der entgegengesetzten Richtung, wird der Strom z. B. durch einen Commutator umgedreht, so dreht sich auch der Stromkreis so lange, bis wieder der aufsteigende Strom im Westen liegt und die Ebene des Stromkreises senkrecht steht auf dem magnetischen Meridian. Nicht anders verhält sich das Solenoid Fig. 123. Die Ebene jedes Kreises stellt sich von selbst senkrecht gegen den magnetischen Meridian, es stellt sich also das ganze Solenoid so, dass seine Axe, seine Längsrichtung in die Richtung des magnetischen Meridians zu liegen kommt. Das Solenoid stellt sich also ganz so in den magnetischen Meridian ein, wie eine Magnetnadel. Das eine Ende des Solenoids zeigt nach Norden, das andere nach Süden. Und wir sehen hier bestätigt, dass dasjenige Ende eines rechtsgewundenen Solenoids sich wie ein magnetischer Südpol verhält, in welches der positive Strom eintritt, dasjenige wie ein Nordpol, aus welchem er austritt.

Da ein Stromkreis, in welchem der positive Strom eine ganz bestimmte Richtung hat, sich unter dem Einfluss eines Magneten in eine ganz bestimmte Stellung begiebt, so muss es möglich sein, einen Stromkreis in continuirliche Drehung um einen Magneten zu bringen. Wenn man nämlich, sowie sich der Stromkreis in seine bestimmte Stellung begeben hat, den Strom commutirt, also die Richtung des Stromes in dem betrachteten beweglichen Stromkreis ändert, so muss sich der Stromkreis um 180 Grad weiter drehen; commutirt man dann wieder den Strom in dem Moment, wo der Stromkreis durch seine Geschwindigkeit noch ein klein wenig über die ihm zukommende Lage hinausgegangen ist, so muss sich der Stromkreis nun weiter drehen und so fort. Man kann es also durch rechtzeitiges Commutiren eines Stromes erreichen, dass der Stromkreis, wenn er beweglich ist, sich

unter dem Einfluss eines Magneten fortwährend dreht, so lange der Strom in dem Kreise fliesst. Das Wechseln des Stromes kann man entweder mit der Hand bewirken, indem man einen Commutator zu passenden Zeiten umstellt, oder man kann es auch durch den sich drehenden Stromkreis selbstthätig machen lassen. Wir werden solche selbstthätige Commutatoren in dem zweiten Theil bei der Entwickelung der magnet-elektrischen Maschinen kennen lernen.

Man kann aber auch ganz ohne Anwendung eines Commutators es durch eine zweckmässige Einrichtung dahin bringen, dass ein drehbar aufgehängter Drahtkreis sich um einen Magneten herumdreht. Es ist dazu nur nöthig, dass ein Theil des Stromkreises beweglich ist, während ein anderer Theil fest ist. Es dient dazu eine Einrichtung, wie sie in Fig. 124 gezeichnet ist. In dieser ist ein Theil eines Stromkreises a b c durch die Spitze b beweglich in ein Quecksilbernäpfchen gestellt, so dass er sich um die Axe d d drehen kann. Die Enden des Stromkreises tauchen in die mit Quecksilber gefüllte Rinne f, in welche der Strom von dem Element durch die Klemme h eingeführt wird. Die Drehungsaxe d d ist mit der Klemmschraube e verbunden, zu welcher der Leitungsdraht von dem anderen Pole des Elements führt. Nun fliesst also der positive Strom z. B. durch h und g in die Quecksilberrinne, steigt dann zu gleicher Zeit in a und c auf bis b und geht dann durch die Spitze b und die Metallaxe d zur Klemmschraube e und zum Element zurück. Neben der Axe befindet sich ein Magnetstab N S. Der Nordpol N, welcher hier allein in Betracht gezogen zu werden braucht, da er wegen der grösseren Nähe auf den beweglichen Stromkreis stärker wirken muss, strebt nun die eine Hälfte des Drahtkreises, nämlich a b d, nach der einen Richtung abzulenken, die andere Hälfte c b d nach der entgegengesetzten. Da aber die beiden Hälften mit einander fest verbunden sind, so müssen diese beiden entgegengesetzt angreifenden Kräfte eine Drehung des Drahtkreises hervorbringen, und diese Drehung muss immer weiter vor sich gehen, da die Kraft immer weiter wirkt und der Stromkreis in keiner Lage zur Ruhe kommen kann, in jeder Lage dieser drehenden Kraft unterworfen ist. Der Drahtbügel rotirt also um den Magnetpol. Kehrt man den Magnetstab um, so dass sein Südpol nach oben zeigt, oder kehrt man die Richtung des Stromes in dem Drahtkreis um, so wird natürlich die Richtung der Rotation eine entgegengesetzte.

Fig. 124.



Es übt also ein Magnetpol immer gewisse Kräfte auf einen galvanischen Strom aus. Diese Kräfte können erstens bewirken, dass der galvanische Strom, resp. sein Leiterkreis sich in eine gewisse Richtung stellt, sie können zweitens bewirken, dass der Strom, wenn er sich frei bewegen kann, angezogen oder abgestossen wird, sie können endlich drittens bewirken, wenn die Anordnung der Ströme und Magnete nur eine zweckmässige ist, dass der Stromleiter in continuirliche Rotation kommt.

Da diese Kräfte von einem Magneten auf jeden beliebigen Strom ausgeübt werden, und der Strom diesen Kräften folgen muss, wenn er frei beweglich ist, so können wir nun eine sehr auffallende Erscheinung verstehen, die bei dem elektrischen Flammenbogen auftritt. Der elektrische Flammenbogen ist ja weiter nichts als ein von einem Strome durchflossener Theil von erhitzter Luft, in welchem sich noch glühende Kohlenstückchen befinden. Er ist also ein Theil eines Stromes, und da er beweglich ist, so muss er allen Einwirkungen eines Magnetes ebenso folgen können, wie ein beweglich aufgehängter starrer Stromkreis. Es muss sich also vor allem der Flammenbogen senkrecht zu der Richtung des magnetischen Meridians stellen, wenn das überhaupt möglich ist, ohne dass der Strom unterbrochen ist. Dies ist auch in der That der Fall. Wenn die Kohlenenden, zwischen denen der Flammenbogen hervorbricht, horizontal stehen, so wird erstens durch die Bewegung der erhitzten Luft der Flammenbogen etwas nach oben gewölbt, zweitens aber kommt er unter dem Einfluss des Erdmagnetismus in eine gewisse Richtung. Man sieht ihn daher nie ganz vertikal stehen, sondern findet immer, dass er eine mehr oder weniger geneigte Lage hat. Bringt man einen Magneten in die Nähe des Flammenbogens, so wird er aus seiner Lage abgelenkt, und zwar wird er nach der einen oder andern Richtung gezogen, je nach der Lage des Magnetpols gegen den Flammenbogen. Es ist diese Eigenschaft von Jamin in sehr geistvoller Weise benutzt worden, um den elektrischen Flammenbogen bei den sogenannten Jablochkoff'schen Kerzen immer an einer bestimmten Stelle zu erhalten, wie wir im zweiten Theil dieses Werkes sehen werden.

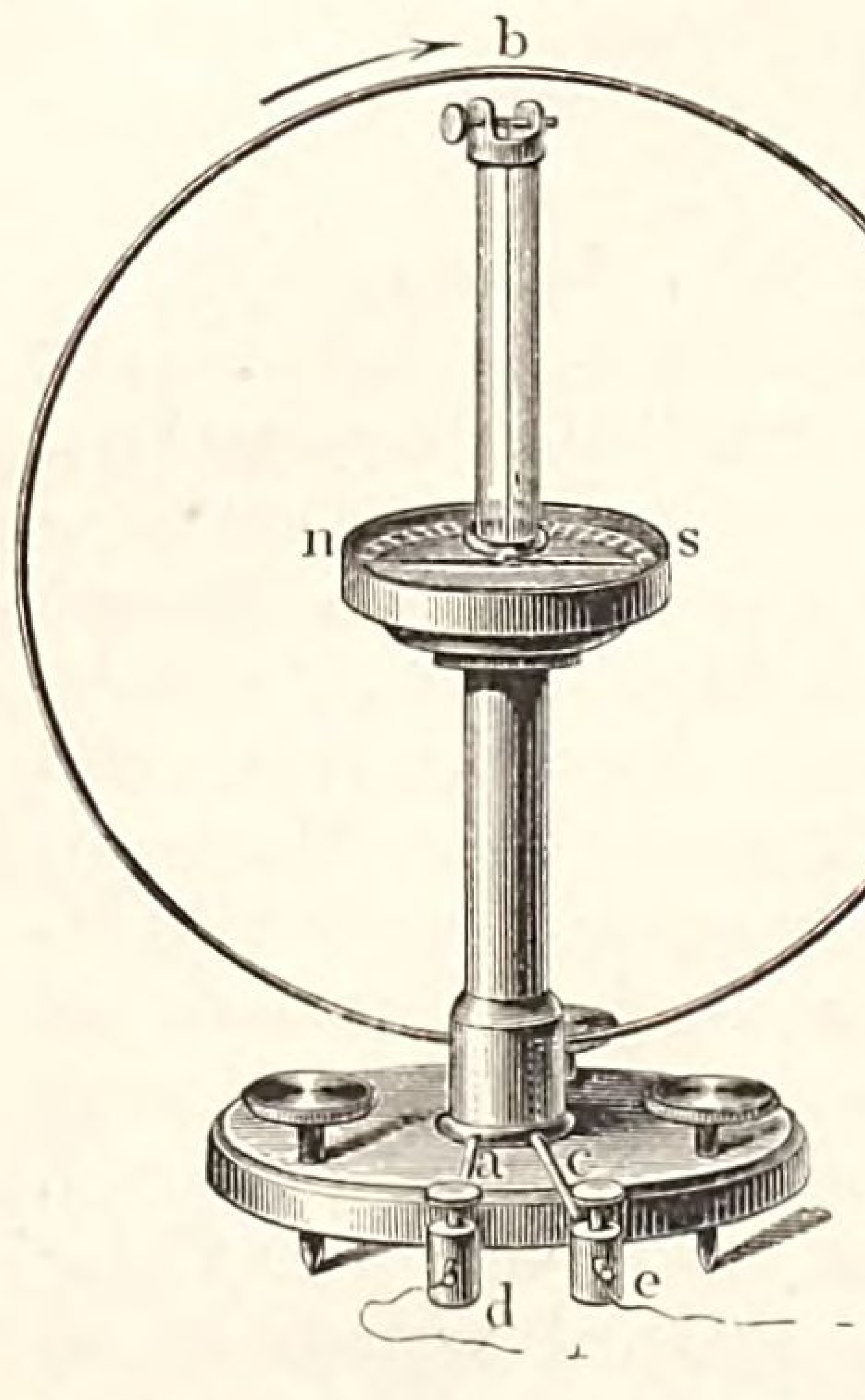
Alle die Erscheinungen, die in diesem Kapitel besprochen und beschrieben wurden, bezogen sich auf die Einwirkung von galvanischen Strömen auf Magnete und von Magneten auf galvanische Ströme. Insbesondere bei den Ablenkungs- und Rotationserscheinungen hatten wir immer angenommen, dass ein Stahlmagnet auf einen Stromkreis oder ein Stromkreis auf einen Stahlmagneten einwirkt. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass statt eines Stahlmagneten in jedem Falle auch ein Elektromagnet angewendet werden kann, dass die Richtungs- und Rotationserscheinungen bei Elektromagneten genau dieselben sind, wie bei Stahlmagneten.

Die Wirkungen eines Stromes auf eine Magnetnadel, die nach dem Biot-Savart'schen Gesetz (s. S. 140) vor sich gehen, haben nun ihre ausgedehnteste Anwendung gefunden bei der Construktion von Apparaten, bei denen man aus der magnetischen Wirkung des Stromes auf seine Intensität schliesst, den Galvanometern. Der in seinen Wir-

kungen übersichtlichste derartige Apparat ist die Tangentenbussole, zu deren genaueren Beschreibung und Anwendung wir nun übergehen.

Die Tangentenbussole (Fig. 125) besteht aus einem kreisförmigen Strom, der auf eine in seiner Mitte befindliche Magnetnadel ablenkend wirkt. Der Strom sucht die Nadel senkrecht zu seiner Ebene zu stellen, seiner Kraft aber wird entgegengewirkt durch den Erdmagnetismus, der die Nadel in die Nord-Südrichtung bringen will, und die Nadel stellt sich daher für jede Stromstärke in eine bestimmte Stellung, sie wird um einen Winkel abgelenkt, dessen Tangente der Stromstärke proportional ist. Man kann auch auf einen kreisförmigen Holzring mehrere besponnene Drähte legen, welche einzeln oder hinter oder neben einander geschaltet in den Stromkreis eingeschaltet werden können. Die Nadel spielt auf einer Skala. Der Apparat wird zu Messungen so aufgestellt, dass der Kreisstrom im magnetischen Meridian liegt. Bei der Messung der Winkel liest man immer die Einstellungen beider Spitzen ab und commutirt ausserdem noch den Strom, so dass man stets vier Ablesungen für einen Winkel hat. Bevor die Nadel sich jedesmal in die ihr zukommende Gleichgewichtslage einstellt, macht sie gewöhnlich mehr oder minder langsame Schwingungen um diese Lage herum. Man kann die Einstellung befördern, indem man die Nadel durch einen kleinen Magneten (ein Taschenmesser genügt immer), den man bei jeder Umkehrung der Nadel auch umkehrt, an die Gleichgewichtslage hinanzieht.

Fig. 125.



Die genauesten Resultate giebt die Tangentenbussole bei Winkeln nahe um 45 Grad, sehr kleine und sehr grosse Ausschlagswinkel leiden in gleicher Weise durch die unvermeidlichen Beobachtungsfehler. Die Tangentenbussole giebt die Stromstärken in einem willkürlichen Mass, das von ihren Dimensionen abhängig ist. Um die durch eine Tangentenbussole oder ein anderes Galvanometer angegebenen Stromstärken sofort in Ampères auszudrücken, braucht man nur die Tangentenbussole zusammen mit einem Voltameter in einen Kreis einzuschalten und einen beliebigen Strom hindurchzusenden. Aus der zerlegten Menge Flüssigkeit kann man nach den auf S. 123, 124 angegebenen Zahlen sofort die Stärke des benutzten Stromes in Ampères angeben. Derselbe Strom lenkt die Nadel um einen gewissen Winkel ab. Die Tangente dieses Winkels multiplicirt mit einer nun leicht zu bestimmenden Zahl giebt dann ebenfalls die Stromstärke in Ampères. Diese Zahl nennt man den Reduktionsfaktor der Tangentenbussole auf Ampères. Hat man diese Zahl für eine Tangentenbussole einmal bestimmt, so kann man für jeden Ausschlag der Nadel sofort die Stromstärke in Ampères berechnen, wenn man die Tangenten der Ausschläge mit dem Reduktions-

faktor multiplicirt. Der Reduktionsfaktor ist natürlich für jede Tangentenbussole besonders zu bestimmen, da er von den Dimensionen derselben abhängt. Auch wenn man, wie oben erwähnt, mehrere kreisförmige Drähte bald hinter einander, bald neben einander benutzt, hat man verschiedene Reduktionsfaktoren. Da sich der Erdmagnetismus allmählich ändert und der Ausschlag der Tangentenbussole von dem Erdmagnetismus abhängt, so ändert sich bei jeder Tangentenbussole der Reduktionsfaktor mit der Zeit, muss also in längeren Intervallen wieder bestimmt werden.

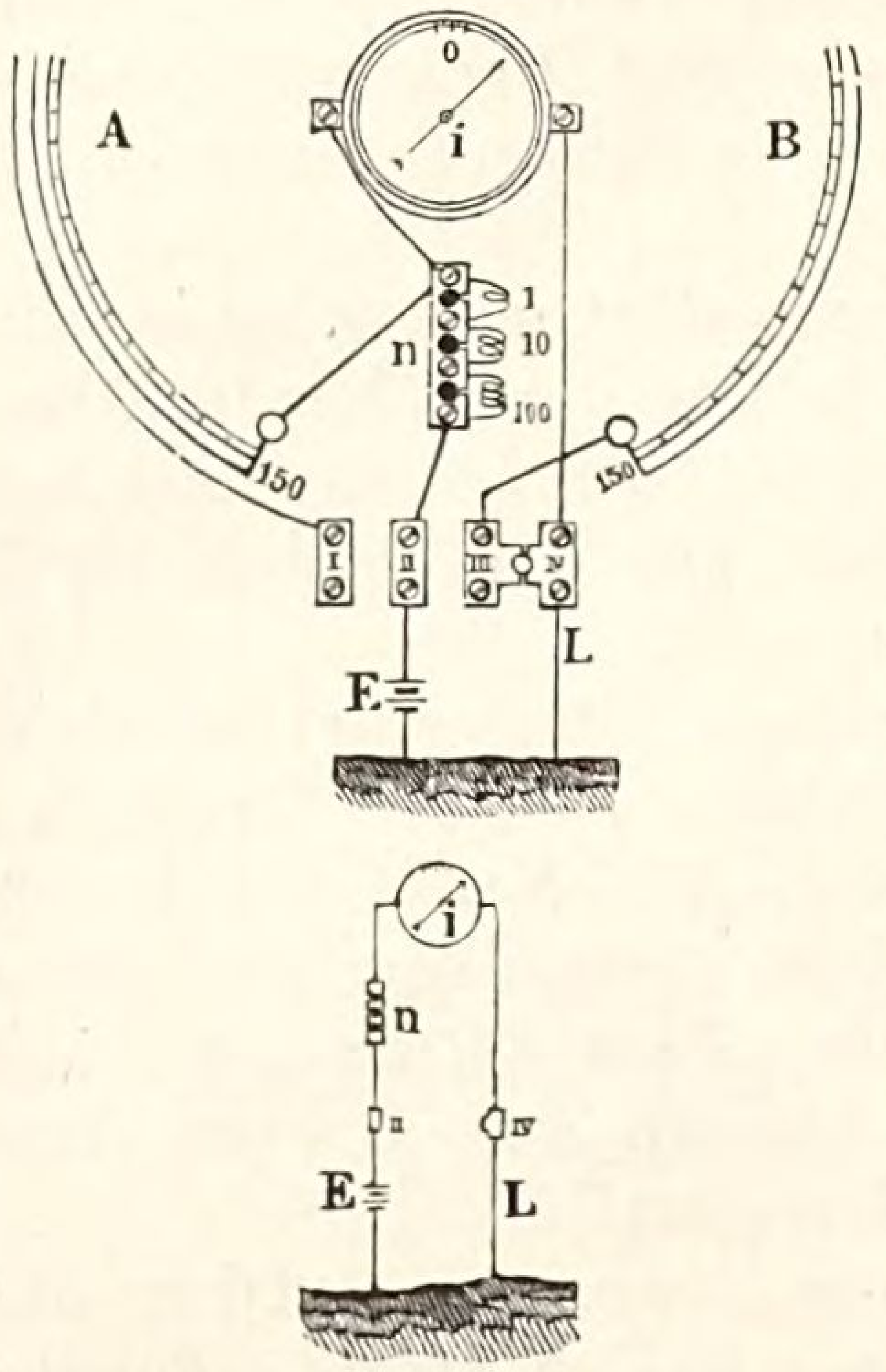
Um den Einfluss des Erdmagnetismus ungestört wirken zu lassen, muss man natürlich alle eisernen Gegenstände aus der Nähe der Tangentenbussole entfernen. Auch ist es erforderlich, die elektromagnetischen Wirkungen der Stromzuleitungsdrähte auf die Nadel durch Umeinanderwickeln derselben zu compensiren.

Die Tangentenbussole ist für sehr geringe Stromstärken nicht anwendbar, weil sie dann zu wenig empfindlich ist (der Stromring muss immer in beträchtlicher Entfernung von der Nadel sein); für sehr grosse Stromstärken ist sie direkt auch nicht anwendbar, weil diese die Nadel vollständig herumwerfen und anders magnetisiren. Auch bekommen die Beobachtungsfehler bei sehr kleinen und grossen Ausschlagswinkeln zu grossen Einfluss auf das Resultat.

Um schwache Ströme messen zu können, muss man daher die einfache Form der Tangentenbussole verlassen und den Strom vielmehr in vielen Windungen sehr eng um die Nadel herumführen, wodurch, da jede Windung eine Kraft auf die Nadel ausübt, die Gesammtwirkung sehr vergrössert wird. Man nennt solche Apparate Galvanometer oder Multiplikatoren. Bei ihnen gilt aber nicht mehr ein einfaches Gesetz für den Zusammenhang zwischen Stromstärke und Ausschlagswinkel der Nadel. Dennoch kann man durch einen einfachen Kunstgriff einen jeden Multiplikator zur Messung der Stromstärke einrichten, indem man nämlich das Drahtgewinde des Multiplikators drehbar macht und zwar unabhängig von der Nadel. Stellt man nämlich zuerst ein Galvanoskop, z. B. das Siemens'sche Universalgalvanoskop, so auf, dass die Nadel und auch die Ebenen der Drahtwindungen im magnetischen Meridian liegen, und schickt man nun einen Strom durch die Windungen, so wird die Nadel abgelenkt. Dreht man aber jetzt die Drahtwindungen der Nadel nach, so geht die Nadel weiter, und wenn man wieder nachdreht, so kommt man schliesslich zu einer Stellung, bei der die Nadel wieder parallel den Drahtwindungen ist. In dieser Stellung kann also der Strom die Nadel gar nicht aus seiner Ebene ablenken, weil ihm durch den Erdmagnetismus das Gleichgewicht gehalten wird. Die gesammte Kraft des Stromes ist dann also gleich der wirksamen Componente des Erdmagnetismus. Da diese nun dem Sinus des Winkels proportional ist, um den die Nadel (und die Drahtwindungen) von dem magnetischen Meridian abgelenkt ist, so ist die Stromstärke also proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels. Auf diese Weise kann man also mit einem beliebigen Galvanometer Stromstärken vergleichen, und wenn man nur einmal den Reduktionsfaktor eines Instruments mittelst eines Voltameters bestimmt hat, kann man

auch die Stärke eines jeden Stromes in Ampères angeben. Das Siemens'sche Universalgalvanometer (S. 81) lässt sich leicht auf diese Weise zur Strommessung verwenden. Das Schema dafür giebt Fig. 126. Die inneren Widerstände (10, 100, 1000 Siemens) werden alle durch Stöpsel verbunden und die Pole des Elements mit den Klemmen II und IV in Verbindung gesetzt. Dann wird die Schieferplatte des Instruments mit dem Galvanometer so lange gedreht, bis Nadel und Windungsebenen wieder zusammenfallen. Die Stromstärke ist dann proportional dem Sinus des Drehungswinkels, den man mittelst des Zeigers abliest.

Fig. 126.



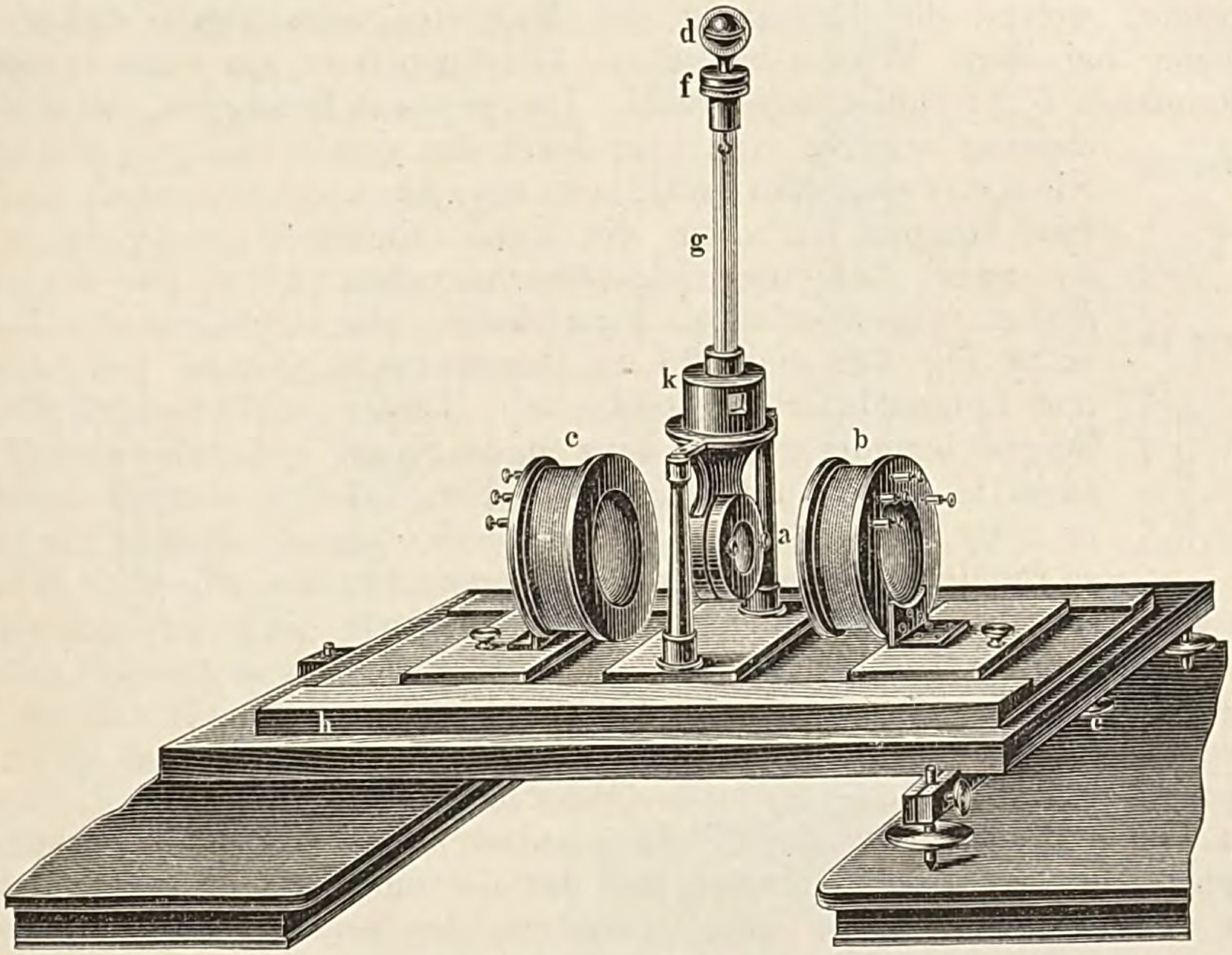
Die direkten Ausschläge eines beliebigen Galvanometers (ohne drehbares Drahtgewinde) kann man im Allgemeinen nicht zur Messung von Strömen verwenden, da man das Gesetz nicht kennt, nach welchem eine so complicirt angeordnete Menge von Windungen auf die Magnetnadel wirkt. Wenn aber die Ausschläge der Nadel nur sehr klein sind, so kann man, das ist ein allgemeines Gesetz der Physik, diese Ausschläge den wirkenden Kräften, also hier der Stromstärke, proportional setzen. Man kann also die Galvanometer dann auch wirklich zur Strommessung verwenden, wenn man sich stets auf sehr kleine Ausschläge der Nadel beschränkt. Um diese kleinen Ausschläge scharf messen zu können, wird die Methode der Spiegelablesung angewendet, welche darin besteht, dass mit der Nadel des Galvanometers ein Spiegelchen fest verbunden ist, in welchem das Bild einer Skala durch ein Fernrohr beobachtet wird. Schon bei dem Quadrantelektrometer (S. 31) haben wir diese Methode angewendet gesehen. Jede Drehung der Nadel zeigt sich so durch ein Spiegelbild eines anderen Theilstrichs der Skala an und ist dadurch bequem messbar. Die Skala befindet sich dicht unter dem Fernrohr in ungefähr derselben Höhe wie der Spiegel, und zwar in beliebigem Abstand von ihm, gewöhnlich zwischen 1 und 5 m. Die kleinsten Ablenkungen der Nadel zeigen sich dadurch schon durch grosse Ablenkung der Theilstriche der Skala im Spiegel an. Die wesentlichste Operation ist das richtige Einstellen von Fernrohr und Skala. Der Ruhelage der Nadel entspricht ein bestimmter Skalenstrich, der gewöhnlich als 0 oder 50 bezeichnet wird. Die Skalentheile nach der einen oder anderen Seite werden oft durch verschiedene Farbe, schwarz und roth, kenntlich gemacht.

Wenn die zu messenden Stromstärken an sich sehr klein sind, so erhält man an sich nur kleine Ausschläge. Hat man aber stärkere Ströme zu messen, so würden die Galvanometer nicht mehr brauchbar sein. Man braucht aber dann nur die Drahtrollen, durch welche der Strom geführt wird, verschiebbar einzurichten, so dass man sie von dem Magneten entfernen oder ihm nähern kann, um dadurch stets

auch bei grösseren Stromstärken kleine Ausschläge erzielen zu können. Man hat gewöhnlich für jedes Galvanometer verschiedene Rollenpaare, um grössere oder geringere Widerstände und mehr oder weniger Umwindungen zur Verfügung zu haben.

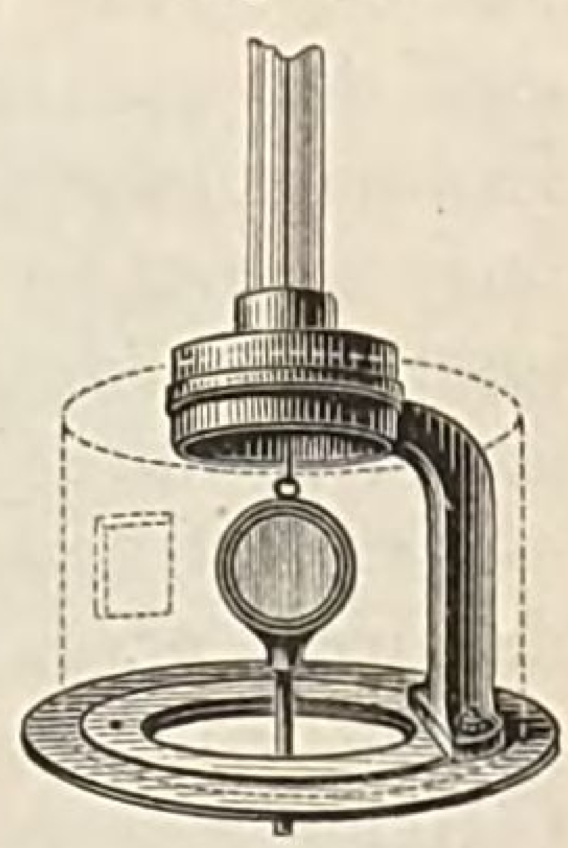
Die Ansicht eines solchen Galvanometers mit verschiebbaren Rollen, eines Wiedemann'schen Spiegelgalvanometers, giebt Fig. 127. Ein Magnet hängt an einem Haken vermittelst eines Cocon-

Fig. 127.



fadens in der Glasröhre g. Zu beiden Seiten derselben befinden sich verschiebbar die Rollen c und b, welche einzeln oder hinter einander oder neben einander vom Strome durchflossen werden können. Der Magnet kann aber bei diesem Apparat gleich selbst als Spiegel benutzt werden. Zu dem Ende besteht der Magnet aus einem kreisrunden Stück glasharten Stahls, an dessen spiegelnder Fläche man leicht die Theilstriche der Skala ablesen kann. Der Magnet befindet sich bei a. Oft ist es jedoch zweckmässig, den Magneten nicht selbst als Spiegel zu benutzen. Dann wird, wie Fig. 128 zeigt, an das Ende des Coconfadens erst ein dünner Glasspiegel gehängt, dessen Axe mit der des Magnetspiegels zusammenfällt. Man beobachtet die Drehungen des Spiegels durch das Fenster in k (Fig. 127) vermittelst Fernrohr und Skala.

Fig. 128.



Sehr lästig ist bei raschen Messungen das langsame Schwingen des Magneten um seine jeweilige Gleichgewichtslage herum. Man

bringt in Folge dessen Vorrichtungen an, um die Schwingungen zu dämpfen, d. h. um zu bewirken, dass der Magnet sofort ohne viele Schwingungen in seine neue Lage übergeht. Dies kann man dadurch erreichen, dass man in der Verlängerung des Aufhängefadens einen leichten Flügel befestigt, welcher bei seinen Schwingungen durch den Widerstand der Luft gehemmt und dadurch gedämpft wird. Weit raschere Dämpfung wird aber erzeugt, indem man den Magneten in einer ihn sehr eng umschliessenden kupfernen Hülle schwingen lässt. Es entstehen dann, wie wir im 8. Kapitel sehen werden, Induktionsströme, welche die Bewegung des Magnetes sehr rasch dämpfen. Schon bei dem Wiedemann'schen Galvanometer war eine solche dämpfende Kupferhülse angebracht. Die grössten Erfolge in dieser Beziehung erreicht man aber durch den von Siemens eingeführten Glockenmagnet. Der Magnet hat dann die Form eines an zwei diametral gegenüberliegenden Seiten aufgeschnittenen Fingerhutes, wie er in Fig. 129 und 130 im Durchschnitt und Längsschnitt abgebildet ist. Dieser Magnet befindet sich mit ganz engem Spielraum in einer Kupferkugel, wie Fig. 131 es zeigt. Die Dämpfung ist dadurch eine so rapide, dass der Magnet fast momentan in seine Gleichgewichtslage kommt und sofort wie festgebannt stehen bleibt. Man nennt Galvanometer dieser Art aperiodische Galvanometer. Die äussere Ansicht eines Siemens'schen Galvanometers giebt Fig. 132. In einer Glasröhre hängt an einem Coconfaden der Glockenmagnet, der bei S ein kleines Spiegelchen trägt. Der Magnet mit der ihn umgebenden Kupferkugel ist nicht sichtbar, da die Kugel dicht von den beiden Drahtrollen umgeben ist, die mit Hüllen H H umgeben sind.

Fig. 129.

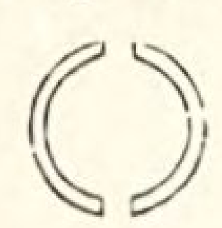


Fig. 130.

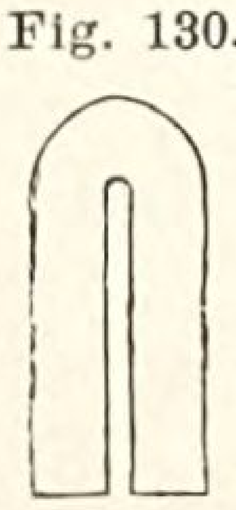
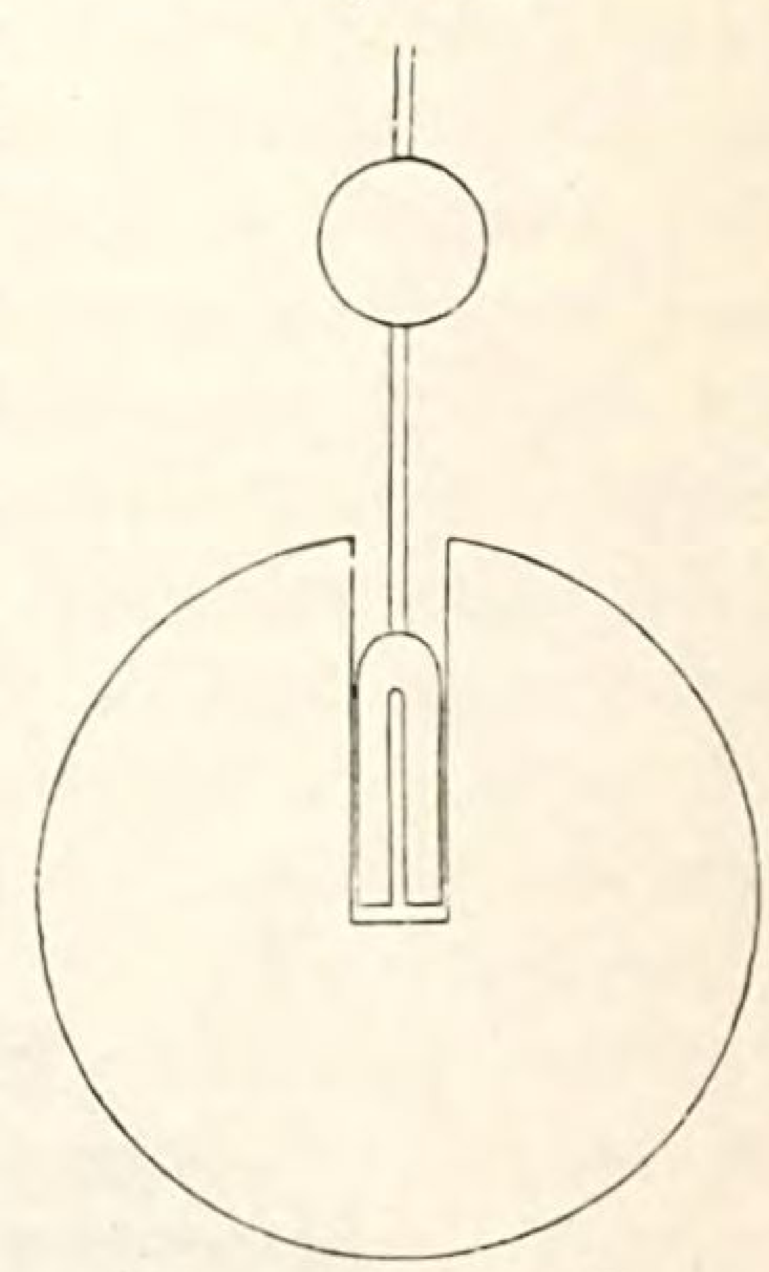


Fig. 131.

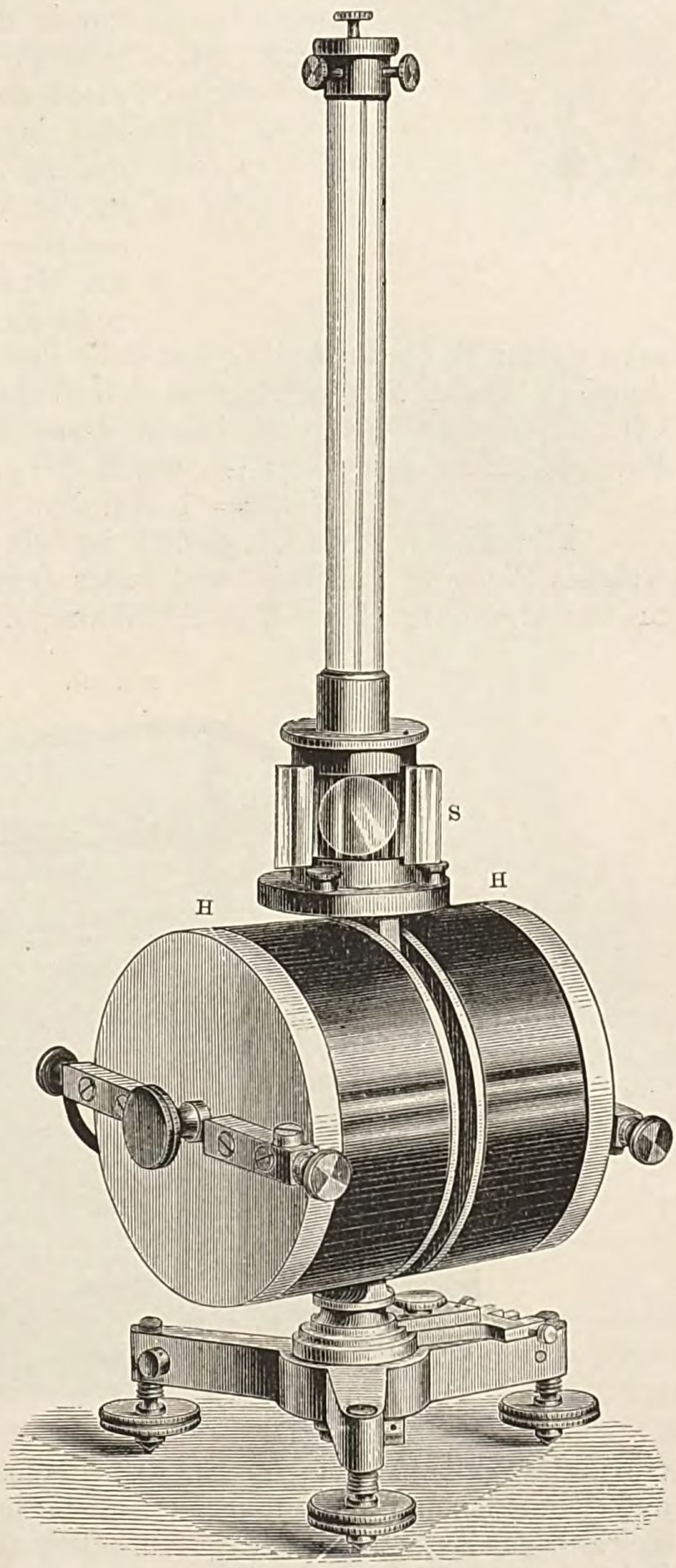


Von der grössten Bedeutung für die Empfindlichkeit eines Galvanometers ist es, den Einfluss des Erdmagnetismus auf die Nadel möglichst abzuschwächen. Denn in der That, wenn der Erdmagnetismus gar nicht wirkte, so würde ja schon der schwächste Strom die Magnetnadel senkrecht zu seiner Richtung stellen, also einen Ausschlag von 90 Grad hervorbringen, abgesehen von der Trägheit der Nadel und der mit ihr verbundenen Theile. Je mehr also die Wirkung des Erdmagnetismus aufgehoben wird, desto grössere Ausschläge erhält man schon bei kleinen Stromstärken, desto geringere Intensitäten kann man also messen. Man kann nun die Wirkung des Erdmagnetismus dadurch aufheben, dass man ein astatisches Nadelpaar benutzt, wie wir es früher beschrieben haben. Man kann denselben Effekt aber auch dadurch erreichen, dass man oberhalb der Nadel oder zur Seite derselben einen starken Magneten verschiebbar anbringt, der dann dem Galvanometermagnete beliebig genähert werden und so fast jeden beliebigen Grad der Astasie hervorbringen kann.

Benutzt man also bei allen diesen Galvanometern nur kleine Ab-

lenkungen des Magnets, die man durch Fernrohr und Skala beobachtet, so kann man daraus Stromstärken mit einander vergleichen. Und wenn man nur noch den Reduktionsfaktor kennt, so kann man die so gemessenen Stromstärken auch in Ampères angeben. Der Reduktionsfaktor ändert sich natürlich, wenn die Rollen eine andere Lage gegen den Magnet haben, muss also für jede Stellung der Rollen besonders bestimmt werden. Will man sehr starke Ströme mit einem solchen Galvanometer messen, so darf man dasselbe nicht direkt in den Stromkreis hineinbringen, weil die dünnen Windungen des Drahtes und der Magnet starke Ströme nicht aushalten und weil die Galvanometer nur für sehr schwache Ströme bestimmt sind. Man hilft sich dann dadurch, dass man in das Galvanometer nur einen ganz kleinen bekannten Bruchtheil des ganzen Stromes schickt. Dies geschieht dadurch, dass man das Galvanometer in eine Zweigleitung bringt, wie Fig. 133 es zeigt. Von E aus geht der Strom. An den Punkten a b liegt das Galvanometer an, das nun die Stärke in seinem Zweige direkt angiebt. Kennt man nun noch den Widerstand des Galvanometers und den Widerstand von a b, so ist die Stromstärke in a b nach unseren Sätzen auf S. 61 um so viel grösser als die in G, als der Widerstand von a b kleiner ist als der von G. Die Stromstärke im Hauptstrom ist dann die Summe der Stromstärken in G und a b.

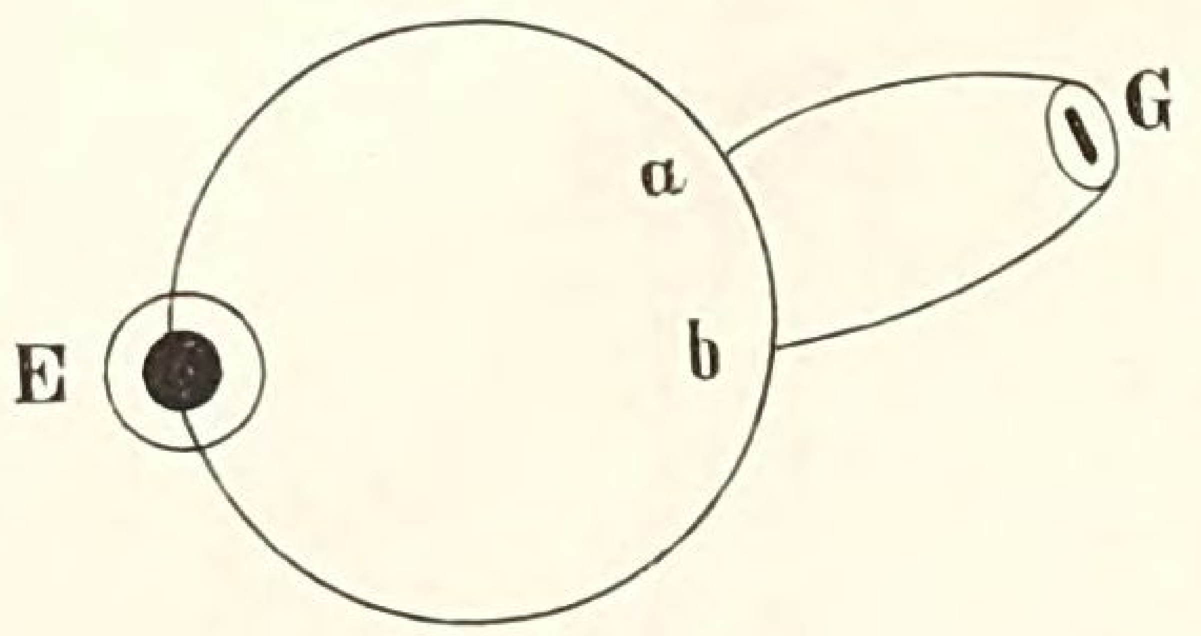
Fig. 132.



Aus dieser Betrachtung erkennt man aber, dass man das Galvano-

meter in der Zweigleitung auch noch zu einem anderen, wichtigen Zweck benutzen kann. Der Strom im Galvanometer G ist ja gleich der Potentialdifferenz von a b dividirt durch den Widerstand der Zweigleitung, d. i. hauptsächlich der Widerstand des Galvanometers. Legt man also das Galvanometer an andere und andere Punkte a b an, so geben, da ja der Widerstand der Zweigleitung derselbe bleibt, die Ausschläge direkt ein Mass für die Potentialdifferenz an den Punkten a und b. Kennt man nun z. B. die Ausschläge, welche das Galvanometer für 1, 2, 3 etc. Ampères giebt, und kennt man den Widerstand des Galvanometers in Ohms, so kann man bei jedem Ausschlag angeben, wie gross die Potentialdifferenz in Volts ist, durch die er hervorgerufen ist. Es ist ja

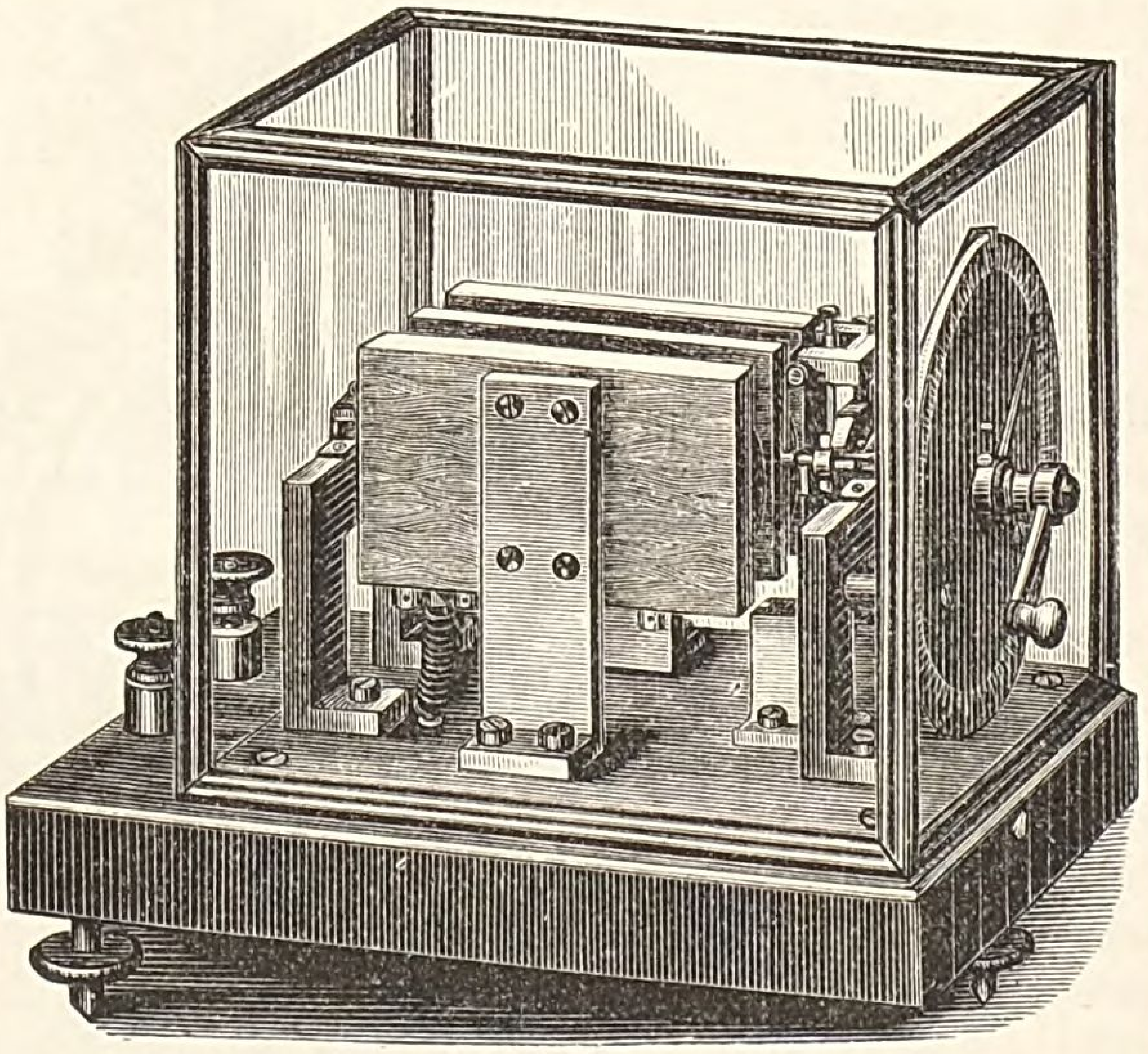
Fig. 133.



$$1 \text{ Volt} = 1 \text{ Ampère} \times 1 \text{ Ohm}.$$

Für diesen Zweck speciell ist ein Galvanometer eingerichtet, welches Siemens construirt und unter dem Namen Torsionsgalvanometer eingeführt hat. Eine Abbildung davon giebt Fig. 134. Es ist

Fig. 134.



ein einfaches Galvanometer mit Glockenmagnet, dessen Axe horizontal auf Schneiden aufliegt und an einer Spiralfeder befestigt ist. Die Spiralfeder ist vorn an der Kurbel befestigt, mittelst welcher ein Zeiger auf einer Skala bewegt werden kann. Um den Magneten und die Drahtwindungen immer in dieselbe Lage gegen einander bringen zu können, wird der Magnet, wenn er abgelenkt ist, durch Drehung der Torsionsfeder in seine ursprüngliche Stellung zurück-

gebracht. Die Drehung der Feder, also auch der Winkel, um den der Zeiger gedreht ist, ist dann proportional der Ablenkung des Magnets, also der gesuchten Potentialdifferenz. Die Theilung ist so gemacht, dass an ihr sofort die Potentialdifferenz in Volts abgelesen werden kann. Die Empfindlichkeit des Apparats ist nämlich ohne Weiteres so gross, dass jeder Grad einer Potentialdifferenz von 0,001 Volt entspricht. Diese Empfindlichkeit ist oft zu gross, denn offenbar kann man mit ihr keine grösseren Potentialdifferenzen messen als 0,36 Volt, da der Kreis nur 360 Grade hat. Um die Empfindlichkeit

Fig. 136.

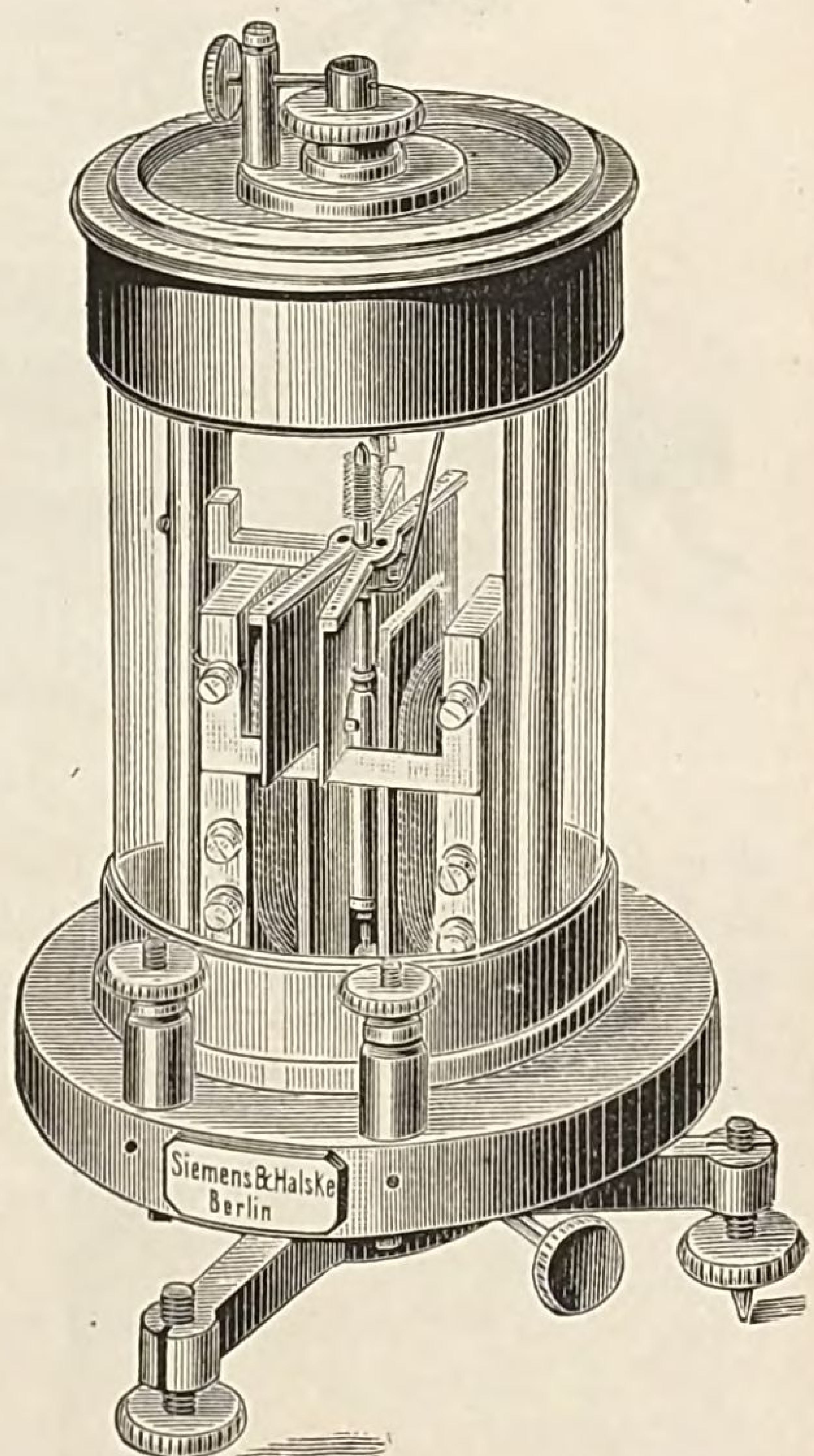
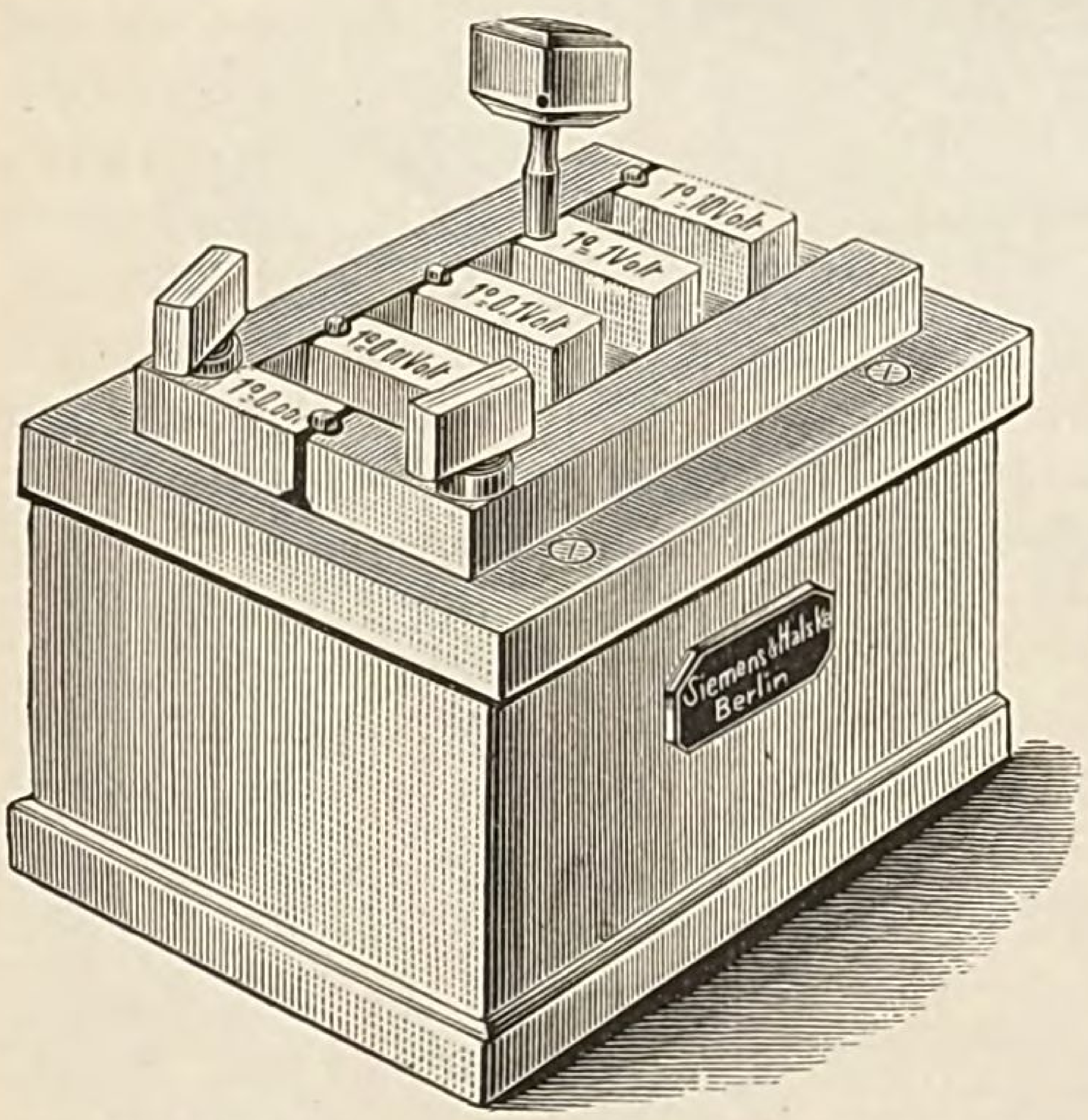


Fig. 135.



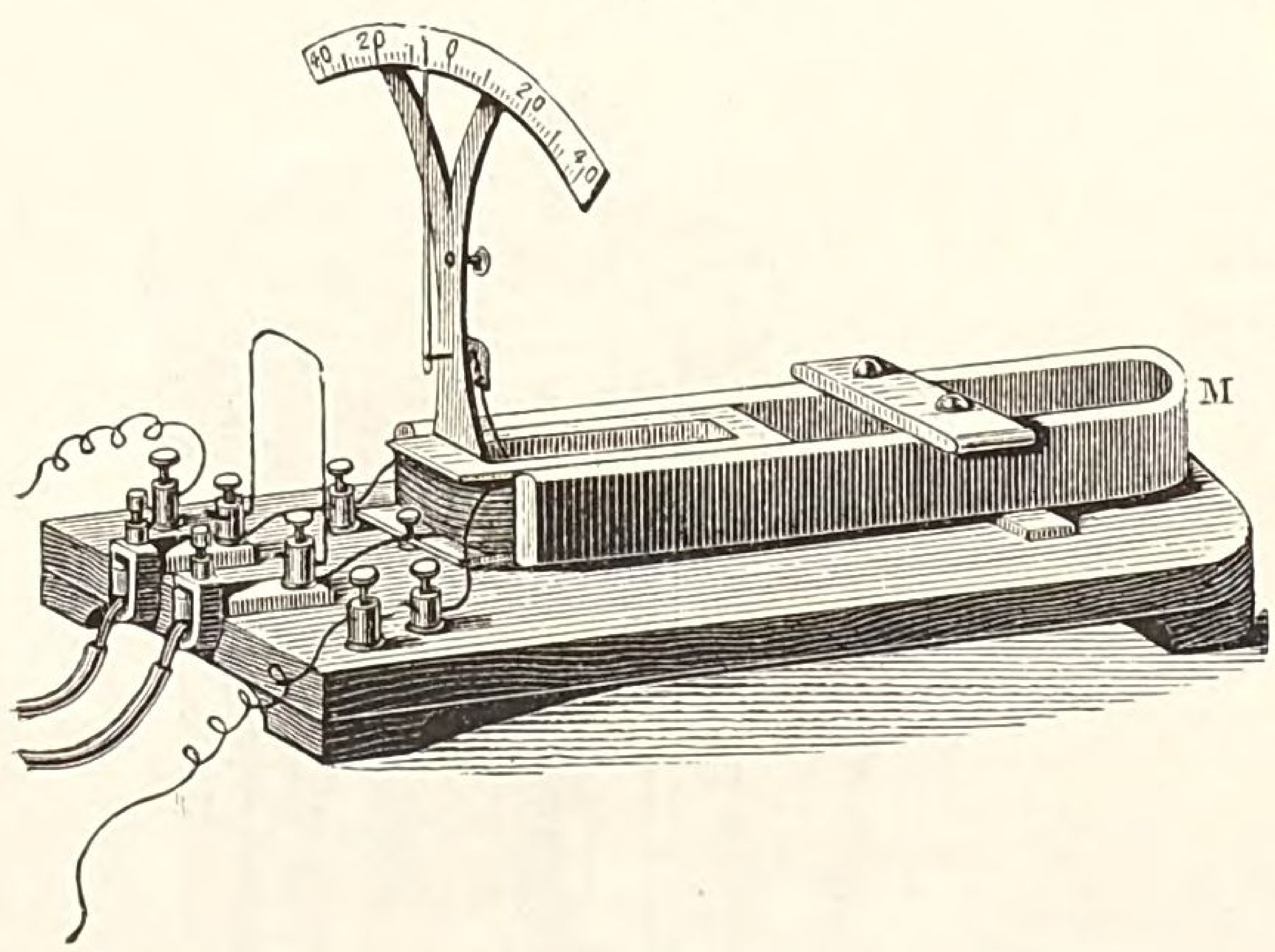
geringer zu machen, um grössere Spannungen messen zu können, muss man in die Zweigleitung noch ausser dem Galvanometer bekannte Widerstände einschalten. Je grösser der gesammte Widerstand der Zweigleitung ist, desto geringer ist der Nadelausschlag für 1 Volt, desto grössere Spannungen kann man also noch messen. Deswegen giebt Siemens dem Torsionsgalvanometer noch einen kleinen Widerstandskasten (Fig. 135) bei, mit abgemessenen Widerständen, von der Art, dass, wenn man nur den ersten Widerstand durch einen Stöpsel in die Zweigleitung mit einschaltet, jeder Grad an der Skala 0,01 Volt entspricht. Schaltet man die ersten beiden ein, so entspricht jeder Grad 0,1 Volt, bei den ersten drei 1 Volt und bei allen vier Wider-

ständen 10 Volt. Dadurch kann man dann also Spannungsdifferenzen von 0,001 bis 3600 Volt messen.

Ausser in der gezeichneten liegenden Form werden diese Torsionsgalvanometer, die insbesondere bei technischen Messungen sehr häufig verwendet werden, auch in stehender Form verfertigt, wie Fig. 136 zeigt.

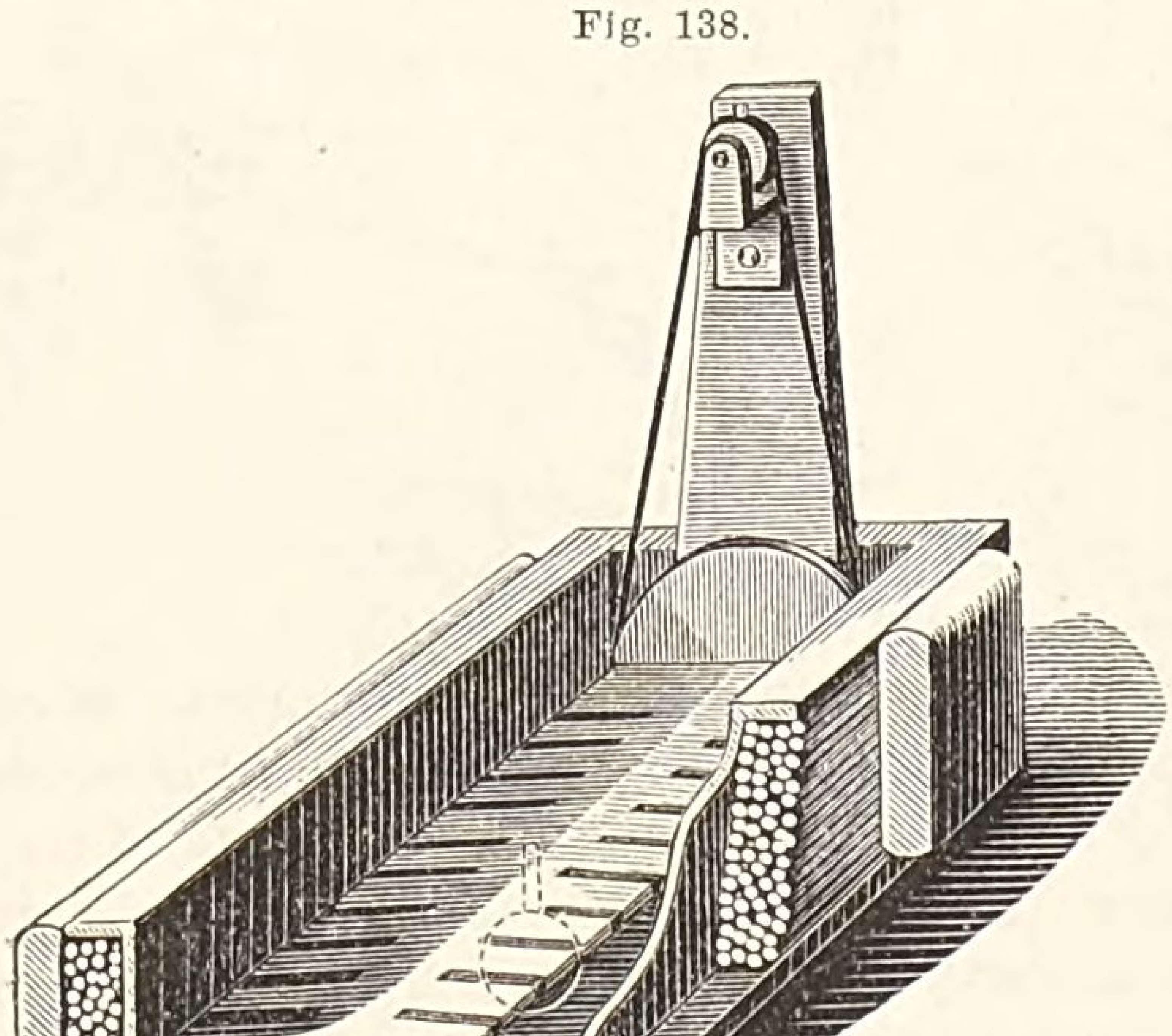
Gehen wir von dieser Anwendung der Galvanometer zur Messung von Potentialdifferenzen wieder über zur Messung von Stromstärken.

Fig. 137.



Bei den neueren Anwendungen der Elektricität, bei denen sehr starke Ströme zur Verwendung kommen, trat die Aufgabe an die Praxis heran, Apparate zu construiren, welche diese starken Ströme einfach und bequem zu messen gestatten. Von diesen Apparaten sei hier zuerst das Deprezsche Galvanometer angeführt, welches in Fig. 137 und 138 abgebildet ist. Zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenmagneten M befindet sich ein mit dickem Draht umwundener Holzrahmen und innerhalb dieses liegt eine mehrfach eingeschnittene Eisenplatte auf Schneiden auf, wie es Fig. 138 zeigt. An der Eisenplatte ist ein Rädchen befestigt, welche mit einem Zeiger verbunden ist. Durch eine Bewegung der Eisenplatte spielt also der Zeiger vor einer Skala. Sobald durch die Windungen des Holzrahmens ein Strom geschickt wird, wird die Eisenplatte abgelenkt, und da sie schwer ist, so bringen auch starke Ströme nur eine kleine Winkelablenkung hervor. Die Theilung ist so eingerichtet, dass man auf ihr sofort die Stromstärke in Ampères ablesen kann. Zugleich ist aber das Instrument auch dazu eingerichtet, Potentialdifferenzen zu messen. Auf dem Holzrahmen ist nämlich zugleich noch eine andere Windungsreihe, bestehend aus sehr vielen Umwindungen

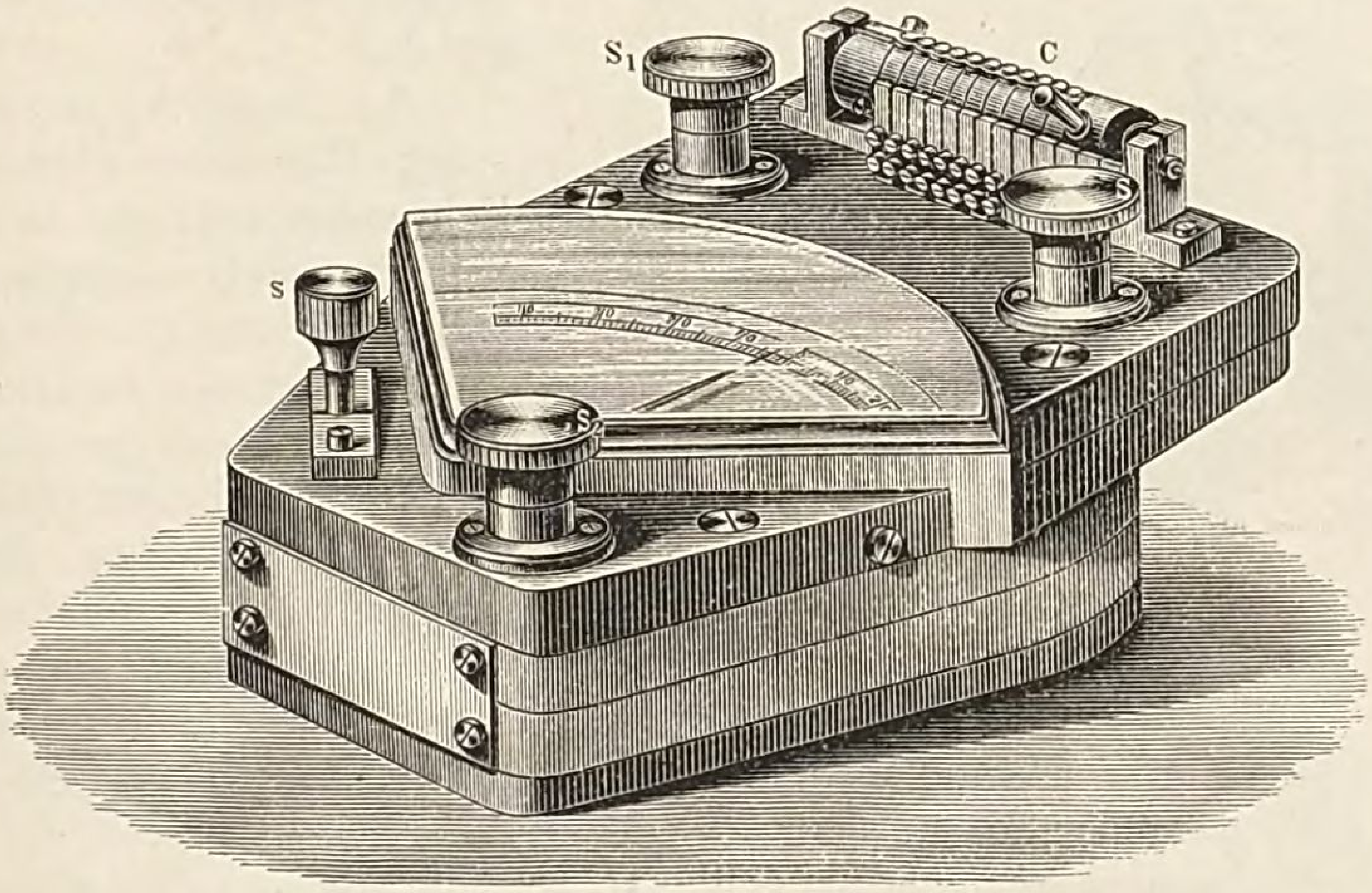
Fig. 138.



eines dünnen Drahtes, aufgewickelt. Das Instrument wird dann mit diesen dünnen Drähten auch wieder in eine Zweigleitung eingeschaltet und misst so die Potentialdifferenzen. Der Widerstand der dünnen Umwindungen resp. die Theilung sind nun so eingerichtet, dass die Ablenkung der Nadel dann sofort die Spannung in Volts angiebt.

Ein anderes Galvanometer für starke Ströme ist von Ayrton und Perry unter dem Namen Ammeter construirt. Dasselbe ist in Fig. 139 abgebildet. Auch hier befindet sich in dem Felde eines sehr

Fig. 139.



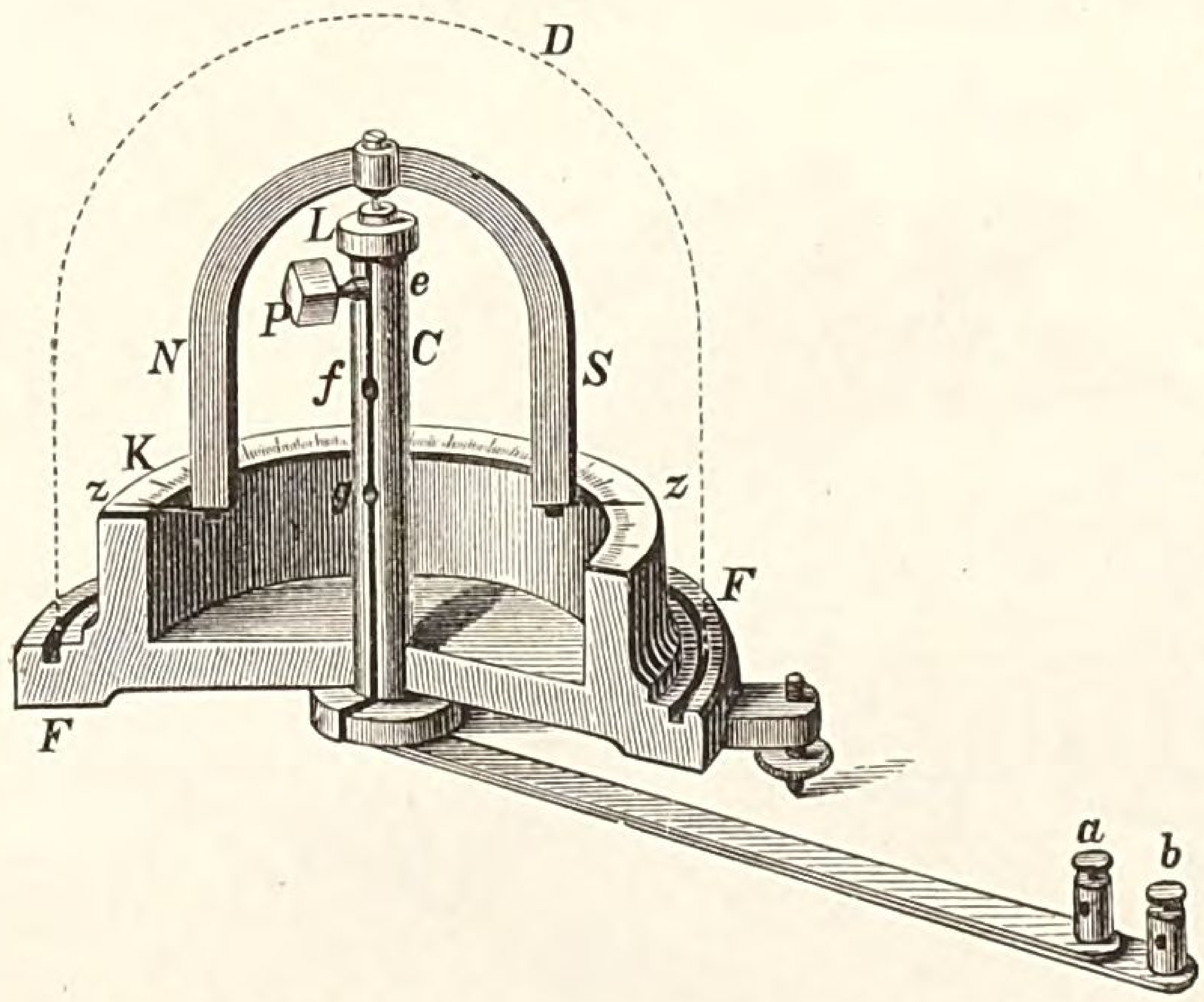
kräftigen Hufeisenmagnets ein Magnet, welcher aber hier die Form einer sehr leichten Nadel hat. Dadurch wird erreicht, dass die Nadel sich rasch ohne Schwankungen einstellt. Die Multiplikatorwindungen bestehen nicht aus einem Drahte, sondern aus einem kleinen Kabel, welches aus zehn isolirten Drähten von gleichem Querschnitt zusammengesetzt ist. Diese Drähte können durch eine Umdrehung eines Commutators hinter einander oder neben einander geschaltet werden. Die erste Schaltung dient für schwache, die andere für starke Ströme. Das Instrument giebt direkt Ampères an und lässt sich bei Hintereinanderschaltung der Drähte schon durch ein galvanisches Element aichen. Dieselbe Ablenkung, die bei Hintereinanderschaltung der Drähte einem bestimmten Strom entspricht, entspricht bei Nebeneinanderschaltung derselben einen zehnmal stärkeren Strom.

Auch dieses Instrument dient zugleich in einer Zweigleitung zur Messung von Potentialdifferenzen. Dazu schaltet man die Drähte hinter einander und verfährt sonst wie früher.

Endlich sei noch ein Galvanometer für starke Ströme erwähnt, das von Edelmann construirt ist und das von den bisher beschriebenen einigermassen abweicht. Dasselbe ist in Fig. 140 abgebildet. Der Strom wird in diesem durch die Klemmen a b den beiden Kupferstreifen zugeführt und geht von diesen in die aufgeschlitzte Metallsäule C, in der er also eine Stromschleife bildet. Auf der Säule sitzt drehbar der

hufeisenförmige Magnet N S, der unter der Wirkung des Erdmagnetismus und des Stromes zusammen in eine bestimmte Gleichgewichtslage kommt, die auf der Theilung abgelesen wird. Das Instrument wird auf bekannte Weise mit dem Voltameter geaicht. Um Ströme sehr verschiedener Stärke messen zu können, kann der Stöpsel P in eines der drei Löcher e, f, g eingeklemmt werden, wodurch die Grösse der Ablenkung für gleiche Stromstärken eine verschiedene wird. Das Instrument ist mit einer Glasglocke umgeben.

Fig. 140.



An diese Apparate für starke Ströme werden natürlich nicht entfernt die Ansprüche an Genauigkeit gestellt, welche für die feinen Multiplikatoren verlangt ist. Trotzdem genügen auch die hier beschriebenen Galvanometer für starke Ströme ihren Zwecken nur unvollkommen, und wir werden erst im nächsten Kapitel einen Apparat von Siemens kennen lernen, der auch für diese Messungen vollkommen geeignet ist.

Alle Galvanometer lassen sich also ursprünglich zur Vergleichung von Stromstärken benutzen. Hat man den Reduktionsfaktor bestimmt, das Galvanometer geaicht, so kann man die Stromstärke direkt in Ampères angeben.

In eine Zweigleitung gebracht, dienen die Galvanometer zur Vergleichung von Potentialdifferenzen, und wenn man das Galvanometer geaicht und seinen Widerstand bestimmt hat, so kann man direkt die Potentialdifferenzen in Volts bestimmen.

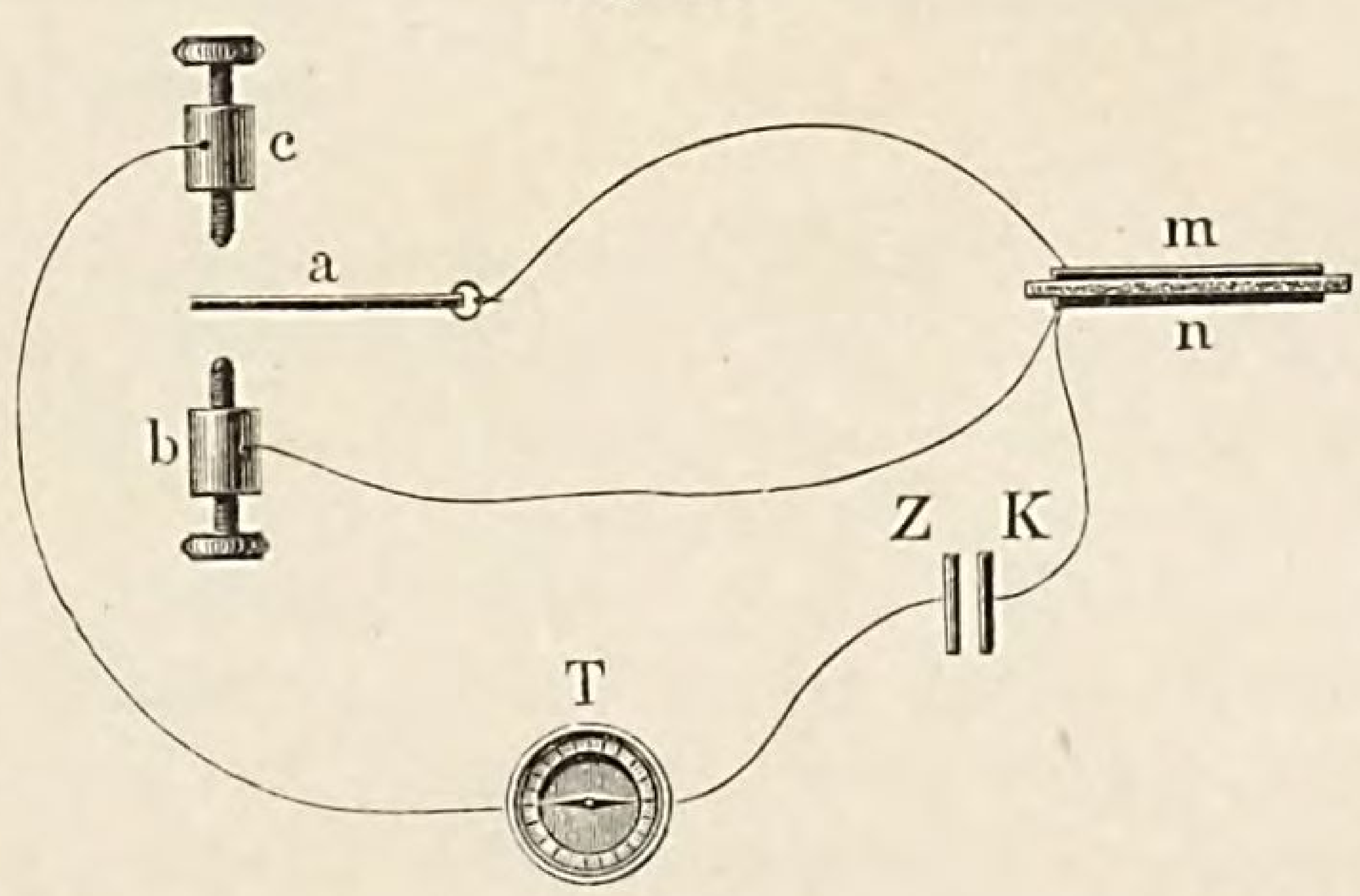
Aber Siemens hat auch auf eine sehr ingeniöse Weise die Galvanometer noch zu einem anderen Zweck benutzt, nämlich um Capacitäten von Condensatoren zu vergleichen. Haben wir nämlich einen Condensator, z. B. zwei einander gegenüberliegende Platten, und verbinden wir die eine Platte mit dem Kupferpol, die andere mit dem Zinkpol einer Batterie, so muss von der Batterie so viel Elektricität auf die Platten überströmen, bis die Potentiale der Platten gleich den Potentialen der mit ihnen verbundenen Batterie sind und die Menge der auf dem Condensator liegenden, also vom Element hinübergeflossenen Elektricität ist (S. 14)

$$\text{Elektricitätsmenge} = \text{Capacität} \times \text{Potentialdifferenz}.$$

Die Potentialdifferenz kennt man; diese ist gleich der elektromotorischen Kraft der Kette. Wenn man nun noch die herübergeflossene Elektricitätsmenge kennt, so kann man daraus die Capacität berechnen. Richtet man nun den Vorgang so ein, dass man den Condensator erst

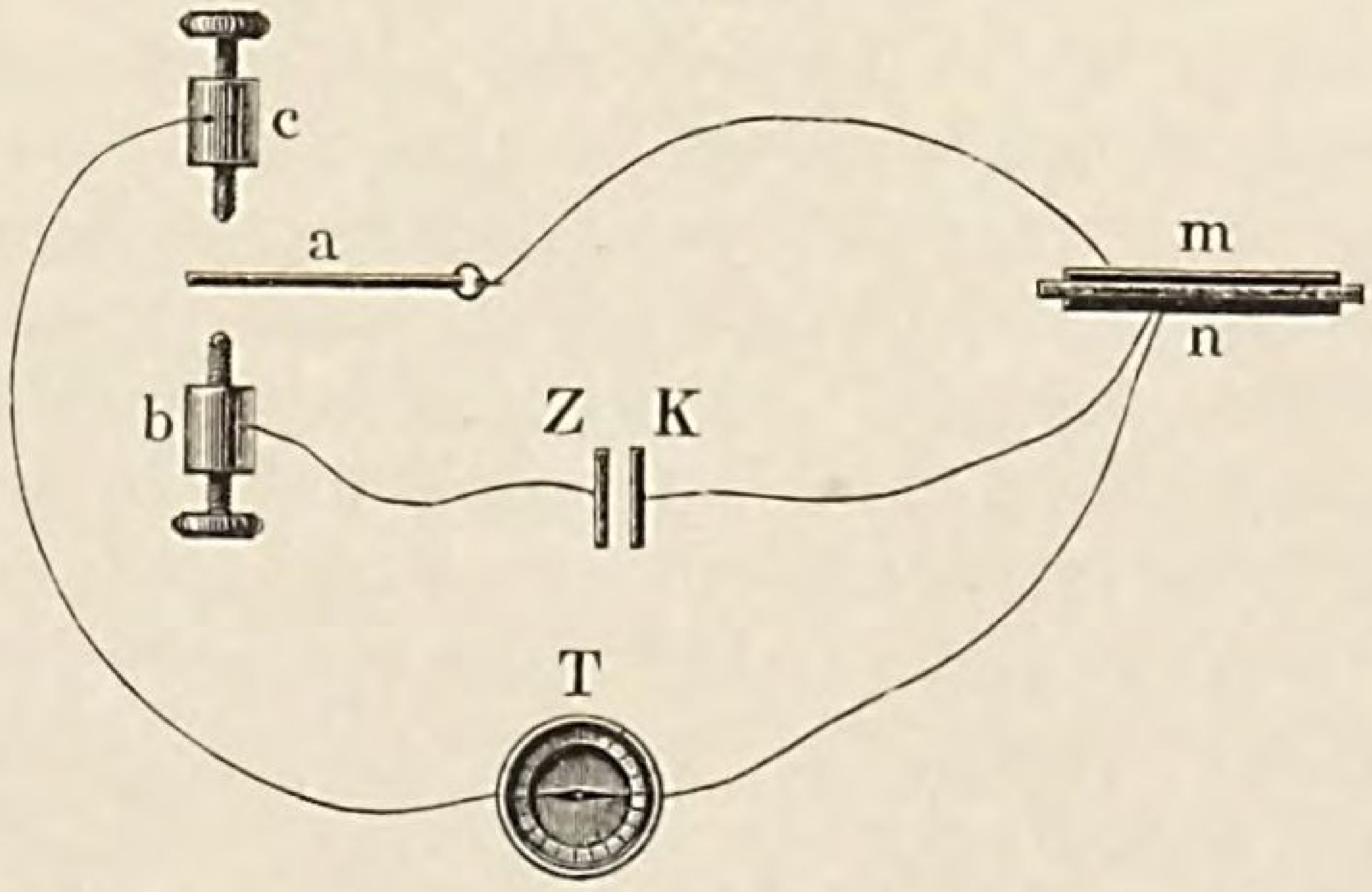
ladet, dann durch Verbindung seiner Platten entladet, dann wieder ladet und so fort, sehr rasch hinter einander, etwa 60mal in einer Sekunde, so strömt 60mal in einer Sekunde dieselbe Elektricitätsmenge von der Batterie auf den Condensator. Die in einer Sekunde durch einen Draht fliessende Elektricitätsmenge hatten wir aber als Intensität des Stromes bezeichnet. Lässt man daher die Elektricität durch ein Galvanometer hindurchfliessen, so wird man, falls man nur die Ladungen und Entladungen rasch genug hinter einander macht, einen Ausschlag des Galvanometers bekommen. Dadurch hat man die Intensität des Stromes, also auch die jedesmal überfliessende Elektricitätsmenge, und kann daher nun die Capacitäten von Condensatoren mit einander vergleichen. Zu diesem Zweck hat Siemens eine Wippe construirt, welche 60mal in der Sekunde den Condensator laden und entladen lässt. In Fig. 141 ist diese Anordnung gezeichnet. Die Wippe ist durch die Metallzunge a angegeben, welche rasch hinter einander sich an c oder an b anlegen kann. Liegt die Zunge a an c an, so geht die Elektricität von dem Element aus auf den Condensator m n, und zwar die positive Elektricität von K nach n, die negative von Z über das Galvanometer T, dann über c und a nach m. Schlägt die Wippe dagegen an b an, so vereinigen sich die Elektricitäten von m und n durch a b. Der Condensator ist also entladen. Geht das Spiel nun fort, so misst das Galvanometer T den Ladungsstrom, durch den der Condensator geladen wird, und wenn man nun die elektromotorische Kraft von Z K kennt, so hat man die Capacität des Condensators.

Fig. 141.



Man kann durch eine andere Verbindung, wie in Fig. 142, auch die Stärke des Entladungsstroms messen, die natürlich ebenso gross sein muss, wie die des Ladungsstromes, da dieselbe Elektricitätsmenge durch das Galvanometer fliesst. Bei dieser Anordnung ladet das Element den Condensator, wenn a an b anschlägt, und wenn a an c anschlägt, so entladet sich der Condensator und der Entladungsstrom geht durch T.

Fig. 142.



Ist das Galvanometer geaicht, so kennt man die Stromstärke, die es angiebt, in Ampères. Macht nun die Wippe z. B. 60 Schwingungen in der Sekunde, so ist die Stromstärke in Ampères gleich 60mal der Anzahl der Coulombs, welche zu jeder Ladung gehören, also

$$\text{Anzahl der Coulombs} = \frac{\text{Anzahl der Ampères}}{\text{Anzahl der Ladungen}}.$$

Kennt man nun noch die Potentialdifferenz der Batterie in Volts, so kennt man auch die Capacität des Condensators in Farads, denn es ist (S. 34)

$$\text{Capacität in Farads} = \frac{\text{Anzahl der Coulombs}}{\text{Potentialdifferenz in Volts}}.$$

Auf diese Weise hat man in dem Galvanometer auch ein Mittel, um Capacitäten zu messen.

7. Kapitel.

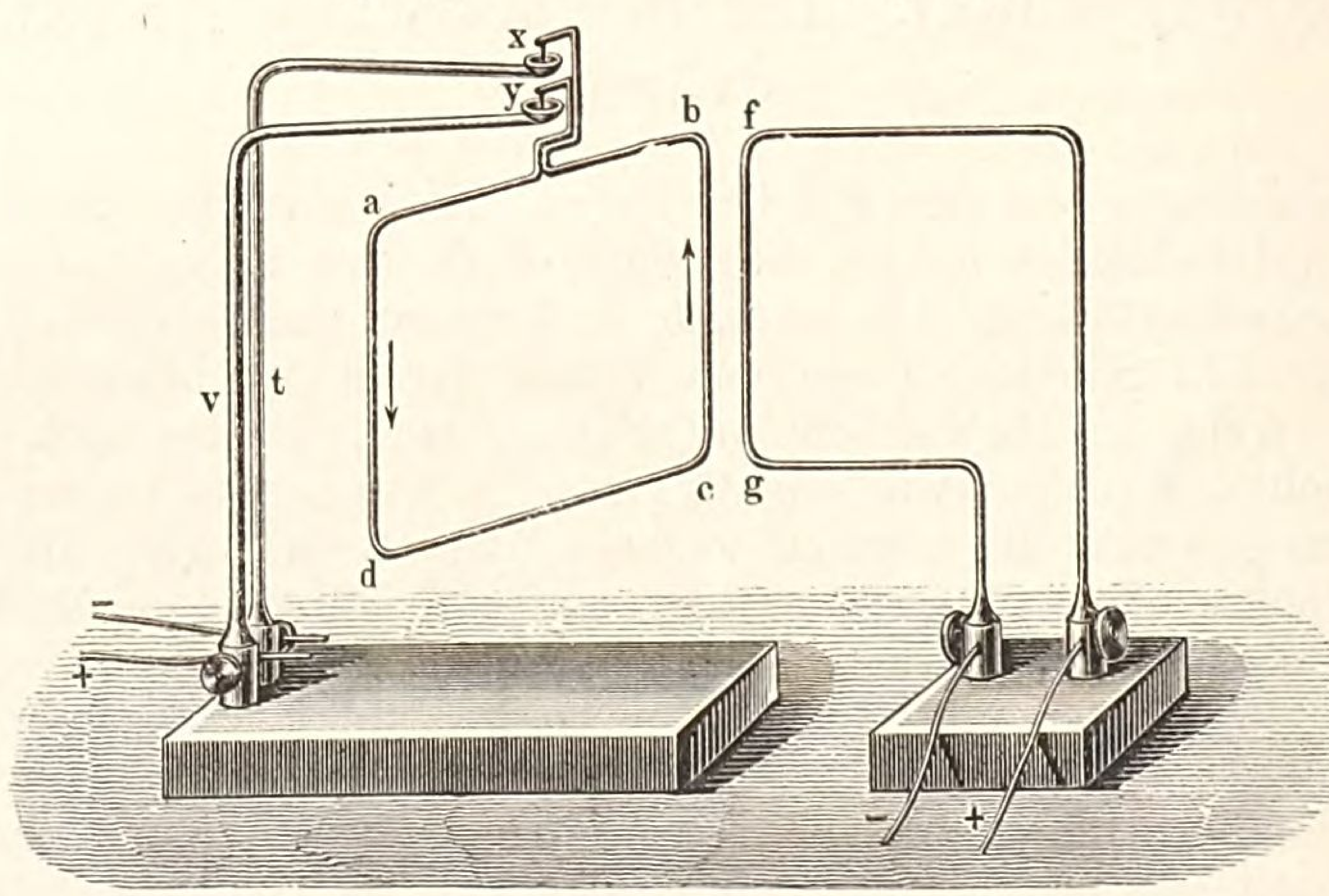
Die Einwirkung galvanischer Ströme auf einander (Elektrodynamik). Die magnetischen Molekularströme.

Es sind uns bei den Erscheinungen, die wir in dem vorhergehenden Kapitel behandelt haben, eine ganze Reihe von Fällen aufgestossen, wo galvanische Ströme, Stromkreise, sich genau ebenso verhielten, wie Magnete. Ein Solenoid (eine von einem Strom durchflossene Drahtspirale), wenn es beweglich aufgehängt war, stellte sich in den magnetischen Meridian wie ein Magnet, es wurde von einem Magneten angezogen und abgestossen wie ein Magnet, es hatte seinen Nord- und Südpol wie ein Magnet, es übte auf einen Magneten Anziehungs- und Abstossungskräfte aus wie ein Magnet. Der Gedanke liegt nahe, dass nun zwei Solenoide, zwei Stromkreise, auf einander ebenso mit anziehenden und abstossenden Kräften wirken würden, wie zwei Magnete. Man hätte dann zwischen zwei Strömen allein, ganz ohne Magnete, anziehende und abstossende Kräfte. Dieser Gedanke zeigte sich nicht nur für Solenoide bestätigt, die ja immerhin Stromkreise von eigenthümlicher Form sind, sondern es zeigte sich, dass überhaupt ein jedes Stück eines galvanischen Stroms auf ein Stück eines andern galvanischen Stroms anziehend oder abstossend wirkt, je nach der Richtung, in welcher die Ströme in den beiden Stromstücken fliessen. Es war Ampère, welcher diese Einwirkung von galvanischen Strömen auf einander untersuchte, und welcher durch scharfsinnige Experimente und Ueberlegungen diese Wirkungen elektrischer Ströme auf einander aufklärte und auf ein einfaches Gesetz zurückführte. Man nennt diese Lehre von den Wirkungen galvanischer Ströme auf einander Elektrodynamik. Zugleich wurde Ampère durch die Aehnlichkeit des Verhaltens von Magneten und Solenoiden auf eine Theorie des Magnetismus geführt, welche die Theorie der Molekularströme genannt wird, und welche alle die Erscheinungen, die wir im vorigen Kapitel besprochen haben, als specielle Fälle der elektrodynamischen Erscheinungen erkennen lässt. Wir werden daher für die Erscheinungen der Rotation von Magneten um Ströme und von Strömen um Magnete in diesem Kapitel den tieferen Grund kennen lernen.

Um die Wirkungen von galvanischen Strömen auf einander studiren zu können, musste Ampère die Ströme, wenigstens theilweise, beweglich machen. Es wird also bei diesen Untersuchungen am besten wieder das Ampère'sche Gestell angewendet, das schon im vorigen Kapitel beschrieben wurde. Dem beweglichen Stromkreis muss man dann einen festen nähern, um die Anziehungen oder Abstossungen bestimmen zu können. Wenn man durch das Ampère'sche Gestell (Fig. 143) einen Strom in der durch die Pfeile angegebenen Richtung hindurchsendet und man nähert diesem beweglichen Stromkreis den festen Stromkreis g f (Fig. 144), so tritt folgendes ein:

Fliesst der positive Strom in g f von unten nach oben, also in gleicher Richtung wie in c b, so wird c b von f g angezogen. Fliesst der Strom in f g von oben nach unten, also in entgegengesetzter

Fig. 143. Fig. 144.



Richtung wie in c b, so wird c b abgestossen. Ganz ebenso verhält sich die Seite a d des beweglichen Stromkreises. Fliesst der Strom in f g in gleicher Richtung wie in a d, so wird a d angezogen, c b abgestossen, fliesst der Strom in f g in entgegengesetzter Richtung wie in a d, so wird a d abgestossen, c b angezogen. Es ergiebt sich daraus der Satz:

Zwei parallele gleich gerichtete Ströme ziehen einander an, zwei parallele, in entgegengesetzter Richtung fliessende Ströme stossen einander ab.

Da ein beweglicher Drahtkreis wie der in Fig. 143 gezeichnete schon von selbst unter dem Einfluss des Erdmagnetismus eine gewisse bestimmte Stellung einnimmt, wie wir gesehen haben, indem diejenige Seite, in welcher der positive Strom aufsteigt, sich immer nach Westen stellt, so tritt diese Anziehung und Abstossung zweier paralleler Ströme hierbei nicht so deutlich auf. Um daher von dieser Einwirkung des Erdmagnetismus, welche bei diesen Untersuchungen nur störend wirken kann, frei zu sein, hat Ampère einen sogenannten astatischen Strom-

kreis construirt, welcher in Fig. 145 abgebildet ist. In diesem fliesst nämlich in den beiden äusseren Drähten der Strom nach einer und derselben Richtung, ebenso in den beiden inneren Drähten. Da der Erdmagnetismus auf jede Hälfte in gleicher Weise richtend einwirkt, so hebt sich die Wirkung des Erdmagnetismus auf den ganzen Stromkreis auf, und dieser bleibt in jeder Lage in Ruhe, stellt sich nicht senkrecht zu dem magnetischen Meridian. Nähert man nun diesem astatischen Leiter jetzt einen festen Stromkreis, so kann man deutlich sehen, dass parallele, gleich gerichtete Ströme sich anziehen, entgegengesetzt gerichtete Ströme sich abstossen. Als festen Stromkreis nimmt man zweckmässig nicht blos einen einfachen Draht, wie in Fig. 144, sondern einen ganzen Rahmen mit vielen neben einander und auf einander liegenden Drähten, in denen allen der Strom in derselben Richtung fliesst. Eine solche Anordnung zeigt Fig. 146. Auf dem Stativ G steht beweglich der astatische Stromkreis, MN ist der mit Draht

Fig. 145.

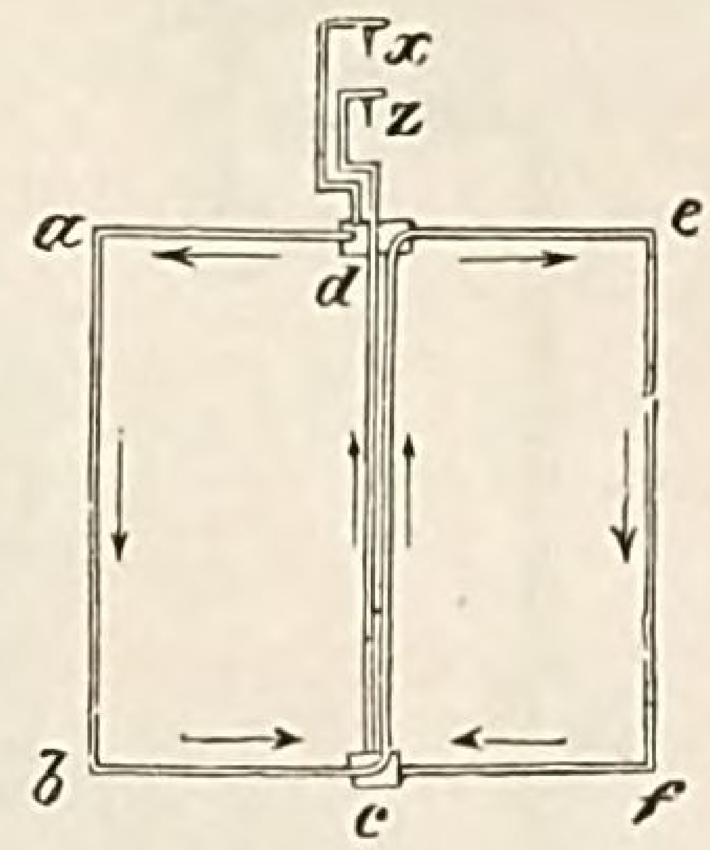
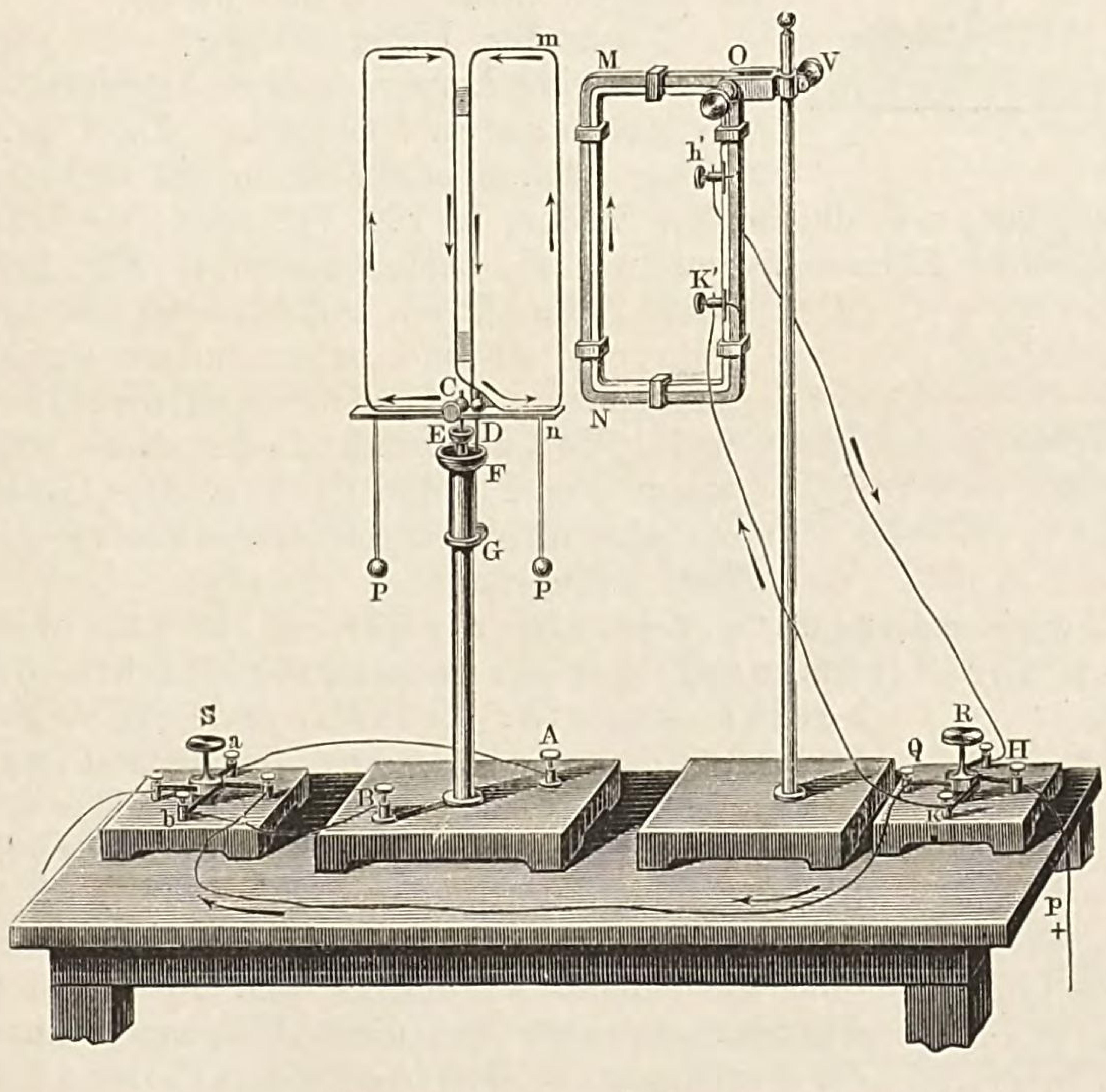


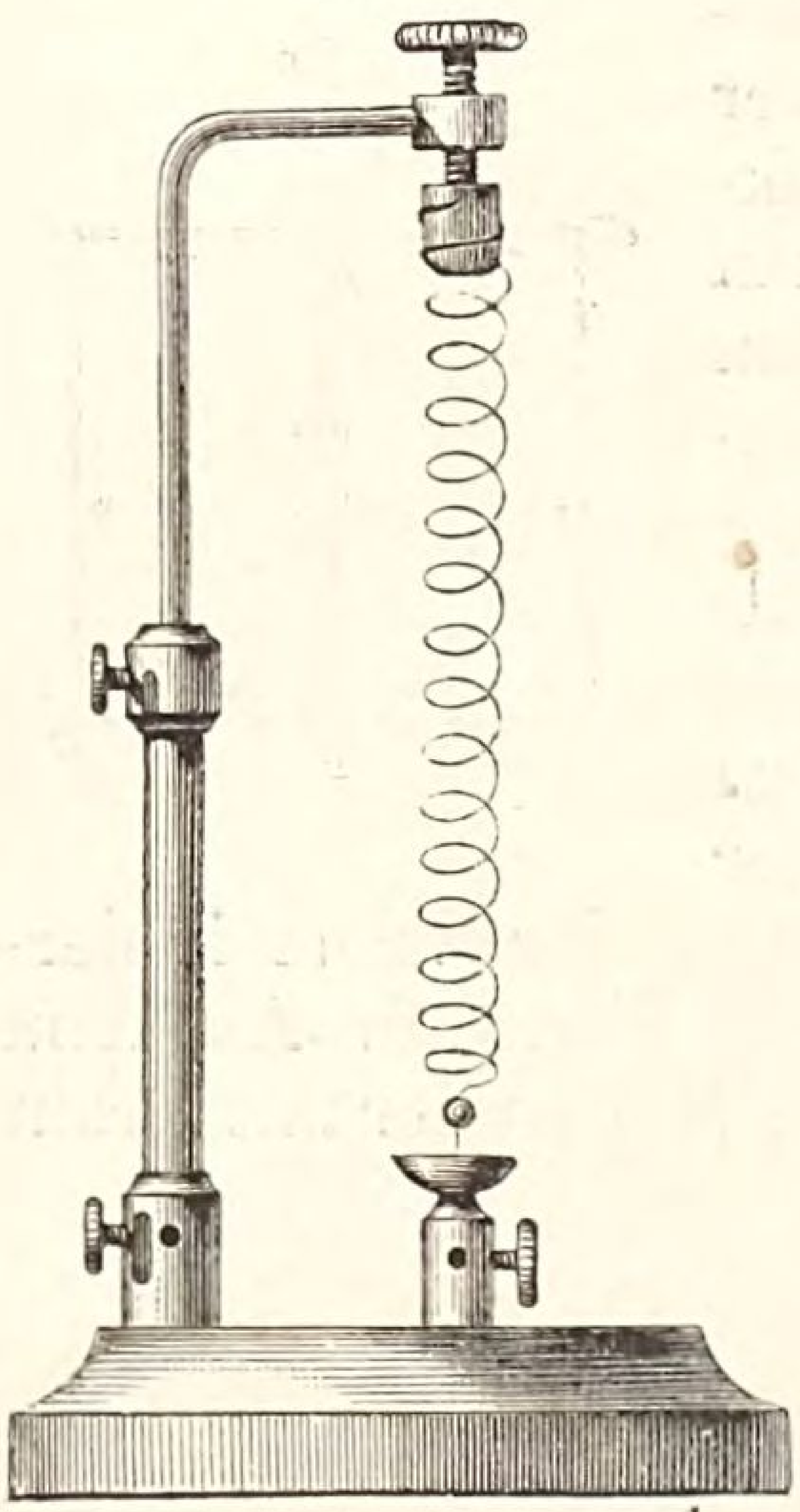
Fig. 146.



umwundene Rahmen. Die Ströme werden von 2 bis 3 Bunsen'schen Elementen durch die Klemmschrauben in die Drähte geleitet und können durch die Commutatoren R und S commutirt werden. In der Figur sind die Ströme in m n und M N gleich gerichtet. Diese ziehen sich also an und stellen sich einander parallel.

Eine sehr niedliche Anwendung dieses Gesetzes lässt sich durch den Apparat Fig. 147 machen. In diesem ist nämlich eine Drahtspirale an einem metallischen Gestell aufgehängt, so dass ihr unteres Ende in ein Schälchen mit Quecksilber grade noch eben eintaucht. Sendet man nun einen Strom durch die Drahtspirale, indem man die Enden der Leitungsdrähte in die in der Figur gezeichneten Klemmschrauben einklemmt, so fliesst der Strom durch alle Windungen der Drahtspirale in gleicher Richtung. Die einzelnen Windungen der Spirale ziehen sich in Folge dessen an, und die Spirale zieht sich dadurch zusammen. Dadurch wird ihr unteres Ende aus dem Quecksilber herausgehoben und in Folge dessen der Strom unterbrochen. Nun dehnt sich die Spirale wieder aus, ihr Ende taucht wieder in das Quecksilber ein und so fängt das Spiel von Neuem an; es kommt also die vom Strom durchflossene Spirale in Oscillationen, sie pendelt nach oben und unten.

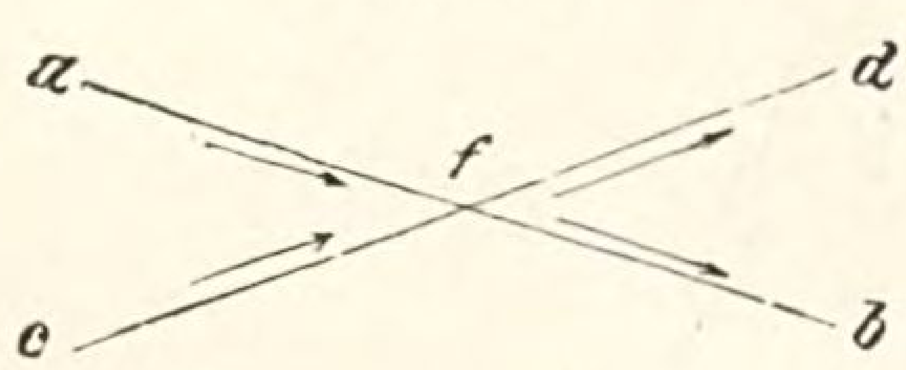
Fig. 147.



$\frac{1}{3}$

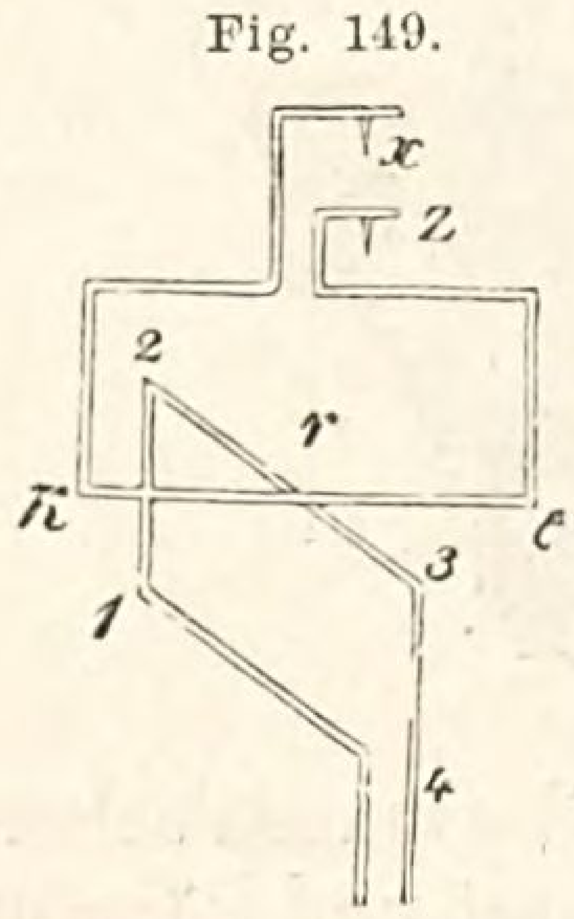
Nach der Untersuchung von parallelen Strömen ging Ampère über zu der Untersuchung von gekreuzten Strömen. Zwei gekreuzte Ströme können entweder in ein und derselben Ebene liegen, wie die beiden Ströme in Fig. 148, oder sie können in verschiedenen Ebenen liegen, wie die beiden Leiter in Fig. 149. Für beide Fälle gilt ein und dasselbe Gesetz. Zwei gekreuzte Ströme haben immer einen Kreuzungspunkt, entweder einen wirklichen, wie in Fig. 148 den Punkt f oder einen gedachten, wie in Fig. 149 den Punkt r. Das Gesetz, das Ampère für diese gekreuzten Ströme gefunden hat, lautet nun:

Fig. 148.



Zwei gekreuzte Ströme ziehen sich an, wenn in beiden der Strom nach der Kreuzungsstelle hin oder in beiden von ihr fortfliesst. Sie stossen sich dagegen ab, wenn in dem einen der Strom nach der Kreuzungsstelle hin, in dem andern von derselben fortfliesst. Bei den beiden Strömen in Fig. 148 z. B. ziehen sich af und cf und ebenso fd und fb an, während die Stücke af und fd und ebenso cf und fb einander abstossen und diese Abstossung unterstützt die Anziehung, so dass die beiden Leiter ab und cd sich parallel stellen. Aus unserem obigen Gesetz folgt also:

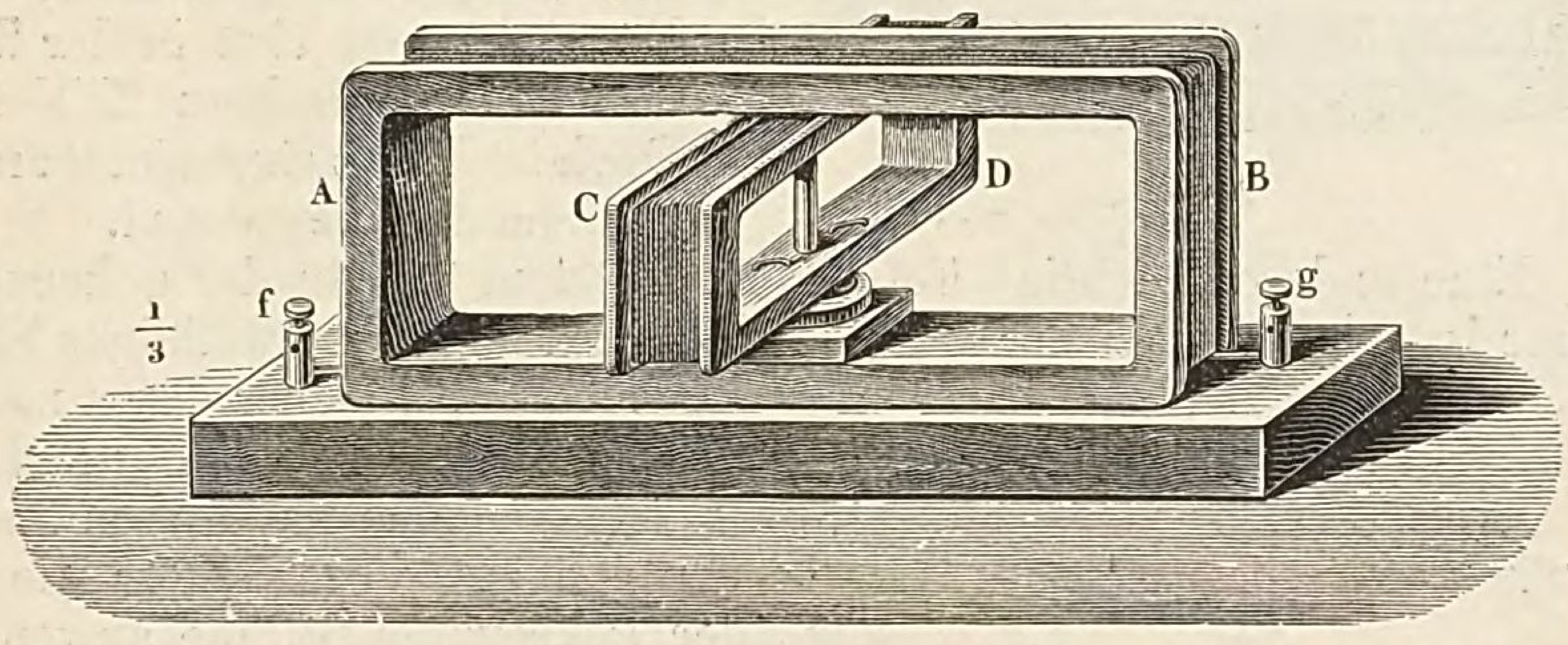
Fig. 149.



Zwei gekreuzte Ströme suchen sich in jedem Fall so zu stellen, dass sie parallel werden und der Strom in ihnen nach derselben Richtung fliesst.

Man kann diese Wirkung zweier gekreuzter Ströme sehr gut an dem in Fig. 150 gezeichneten Apparat sehen. In demselben ist ein fester Rahmen A B mit einer Reihe von Drahtwindungen versehen, in welche ein Strom durch die Klemmschrauben f und g eingeführt wird. In dem festen Rahmen befindet sich ein beweglicher leichter Rahmen C D, der auch mit einer Lage von Drahtwindungen

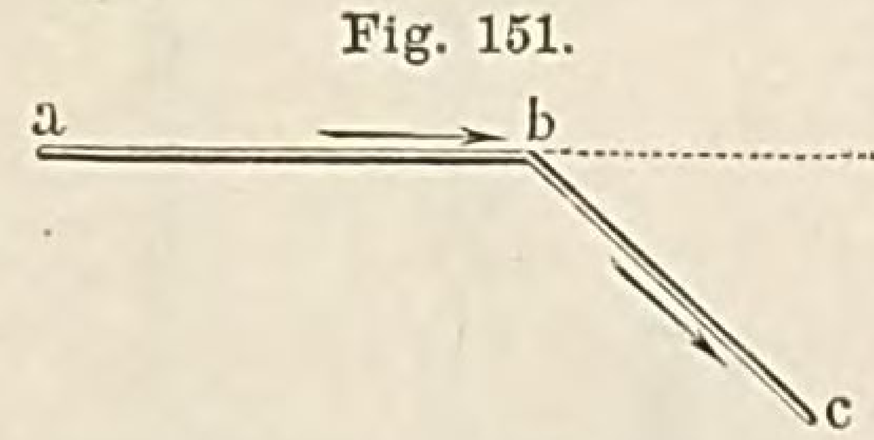
Fig. 150.



versehen ist. Auch in diese Drähte kann durch eine, in der Figur nicht gezeichnete, Vorrichtung mittelst Quecksilbernäpfchen ein Strom geführt werden. In der Figur sind die beiden Drahtkreise gekreuzt gezeichnet. Sie streben also danach, sich parallel und gleichgerichtet zu stellen und in der That fängt der innere Rahmen sich unter der Einwirkung der Ströme an zu drehen, bis die Drahtwindungen einander parallel stehen und die Ströme in ihnen gleichgerichtet sind.

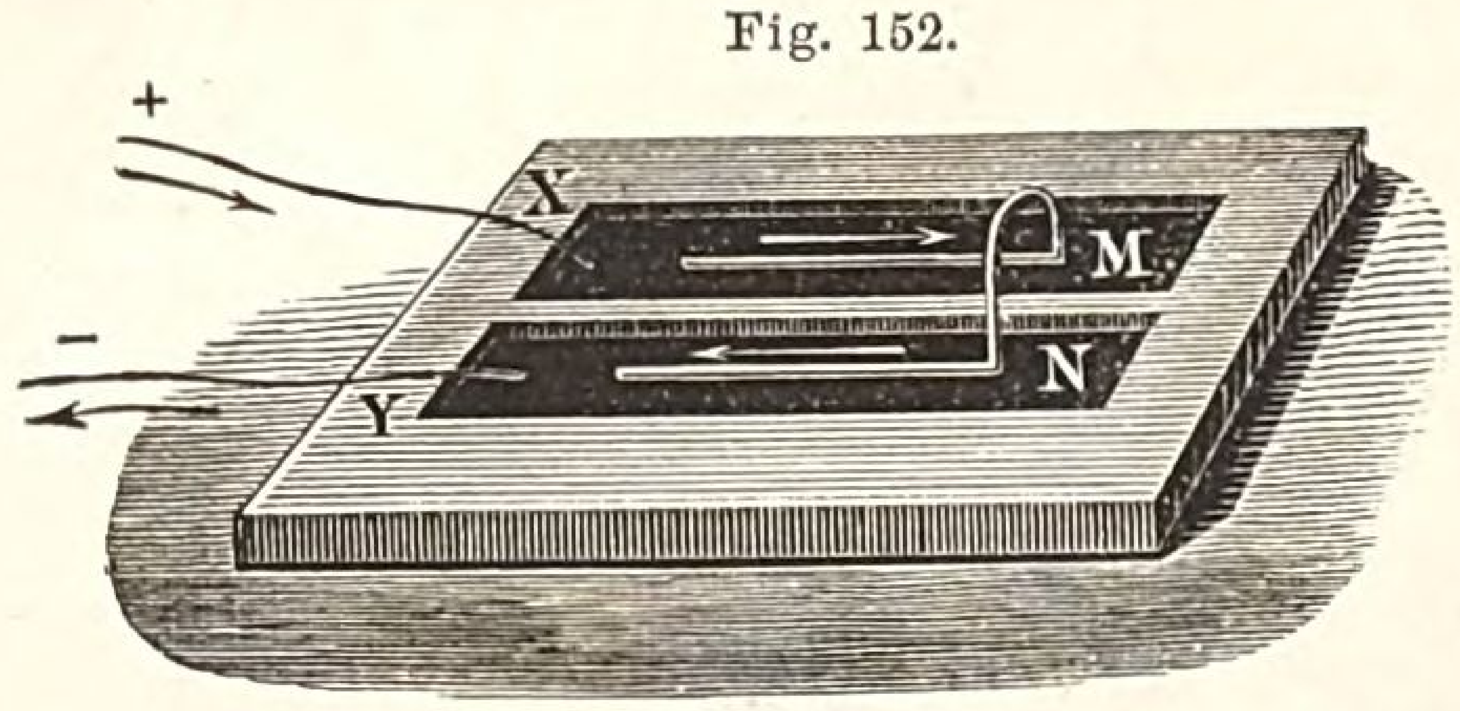
Diese beiden qualitativen Gesetze der Wirkung paralleler und gekreuzter Ströme führen nun zu einigen interessanten Folgerungen, die durch den Versuch bestätigt werden. Wenn wir zwei Ströme haben wie in Fig. 151 a b und b c, die unter einem Winkel an einander stossen, so dass der Strom von dem einen nach der Kreuzungsstelle b hin, von dem andern von ihr fortfliesst, so stossen sich diese beiden Ströme ab. Denken wir uns nun den Winkel a b c immer stumpfer und stumpfer, so bilden schliesslich die Linien a b und b c eine einzige gerade Linie, in welcher der Strom von a durch b nach c fliesst. Dann muss immer noch Abstossung zwischen den Theilen a b und b c stattfinden. Wenn aber a b c eine gerade Linie ist, so können wir diese als einen einzigen Strom auffassen. Es folgt also daraus, dass die **einzelnen Theile eines geradlinigen Stromes sich gegenseitig abstossen müssen.** Bei festen Stromleitern, bei Drähten, wird sich dies natürlich nicht zeigen lassen. Um die Richtigkeit dieser Folgerung zu prüfen, hat daher de la Rive einen Apparat angegeben, der in Fig. 152 dargestellt ist. Er besteht aus einem Gefäss, in welchem sich Quecksilber befindet, das durch eine nicht leitende Scheidewand in zwei Abtheilungen getheilt ist. Die Leitungs-

Fig. 151.



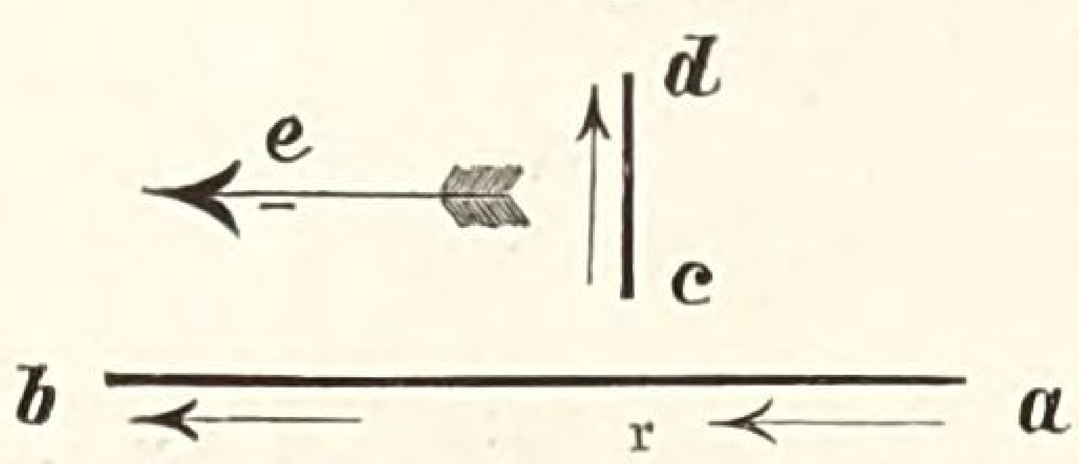
drähte X und Y tauchen in das Quecksilber ein. Die Verbindung zwischen den beiden Abtheilungen ist durch einen dünnen, bügelförmig gebogenen Kupferdraht MN hergestellt, dessen Enden auf dem Quecksilber schwimmen. Sowie jetzt der Strom durch das Quecksilber fliesst, werden die Enden des Bügels abgestossen, der Bügel bewegt sich in der That von den Poldrähten X Y fort. Doch ist dieses Experiment nicht vollkommen beweisend.

Fig. 152.



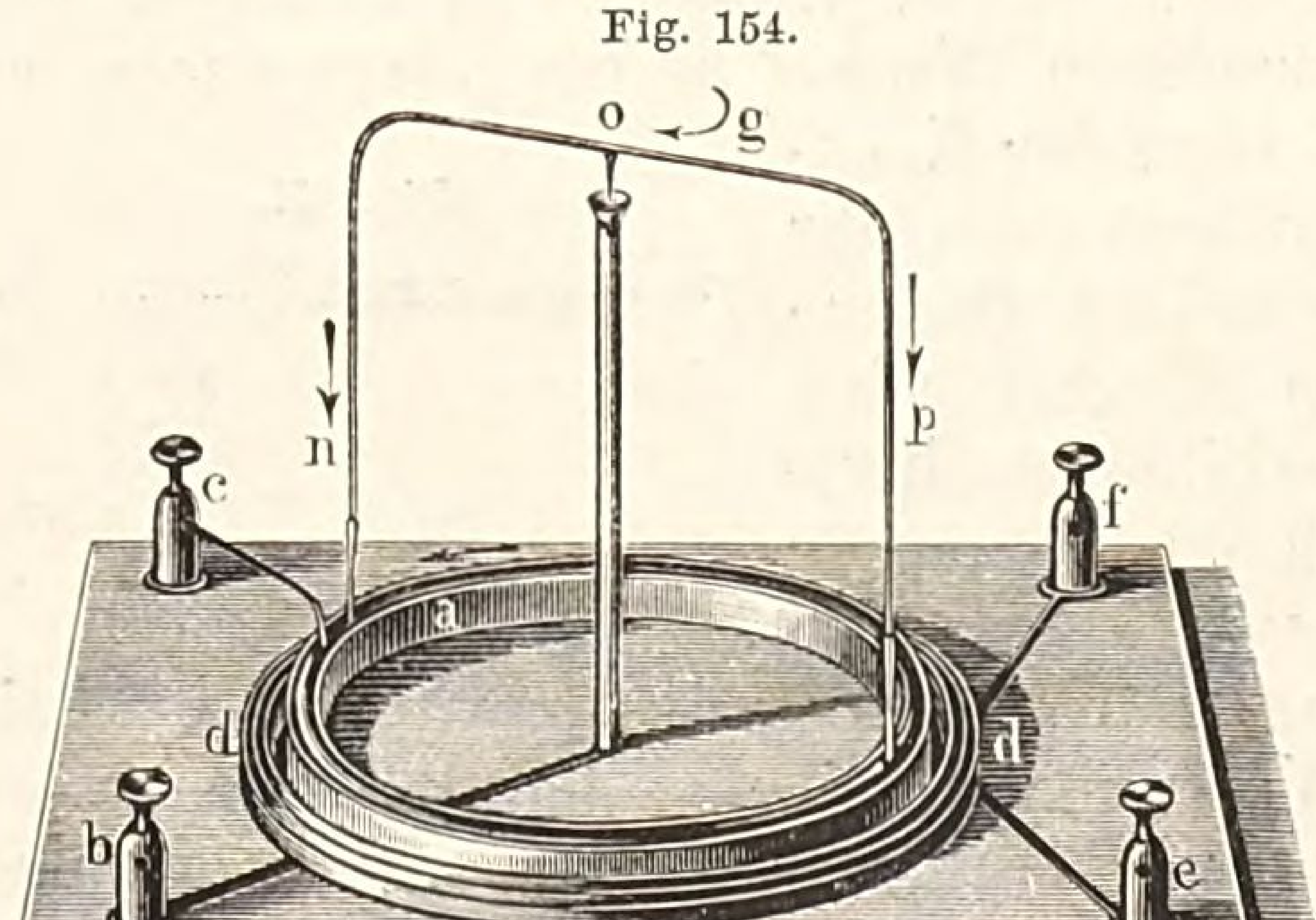
Eine andere, wichtige Folgerung aus dem Gesetz der gekreuzten Ströme ist folgende. Wenn in Fig. 153 a b ein langes geradliniges Stück eines Stromes ist, welcher von a nach b fliesst, und c d ein Stück eines anderen Stromes ist, welcher nach oben fliesst, so lassen sich auf diese beiden die Gesetze der gekreuzten Ströme anwenden. r ist der Kreuzungspunkt. Es wirken nun a r abstossend und r b anziehend auf c d. Ist nun der Stromleiter c d so befestigt, dass er sich nur in der Richtung des Pfeiles e bewegen kann, so wird er unter dem Einfluss des Stromes a b in der That in dieser Richtung fortschreiten. Er muss immer parallel dem Strom a b sich bewegen. Statt des langen geradlinigen Drahtes kann man auch einen kreisförmigen Draht oder überhaupt einen kreisförmigen Stromleiter nehmen. Dann muss sich der Draht c d, wenn er passend befestigt ist, im Kreise herumdrehen und zwar in der Richtung des Stromes a b, wenn der Strom in ihm von c nach d fliesst, entgegengesetzt der Richtung des Stromes a b, wenn der Strom in ihm von d nach c fliesst.

Fig. 153.



Ein solcher Rotationsapparat ist in Fig. 154 gezeichnet. Von der Klemme b führt ein Draht in eine Metallsäule, welche oben in einem Quecksilbernäpfchen vermittelst einer Spitze den Draht n o p trägt. Der Strom geht in der Säule nach oben und dann durch die beiden Drähte n und p nach unten. Diese tauchen in eine mit Quecksilber gefüllte Rinne a, welche mit der Klemme c durch einen Draht verbunden ist. Um die Rinne herum liegt ein kreisförmiger Kupferstreifen, oder auch ein spiralförmig zusammengelegtes Kupferband, dessen Enden mit den Klemmen e und f verbunden sind. Leitet man nun einen Strom durch den Kupferstreifen, so werden die Arme p und n sich zu drehen anfangen und zwar bei den

Fig. 154.



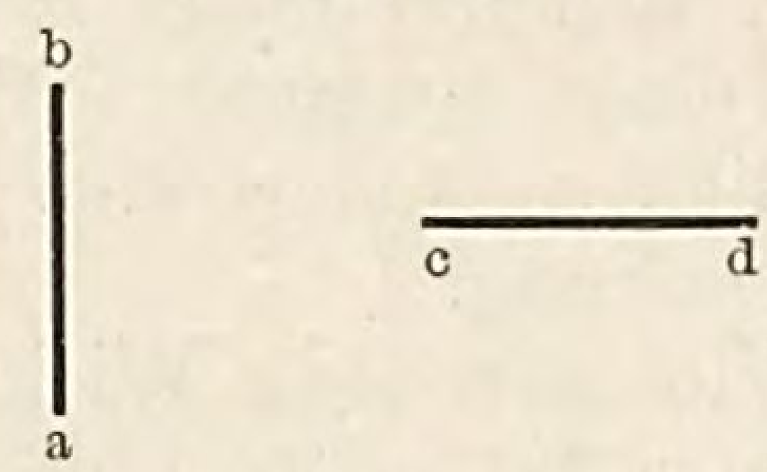
in der Figur gezeichneten Stromrichtungen entgegengesetzt der Richtung, in welcher der positive Strom durch den Kupferstreifen fliesst. Es rotirt bei dieser Anordnung und bei jeder anderen Anordnung nicht der ganze geschlossene Leiter, sondern nur ein Theil desselben, der eben durch Quecksilber trotz seiner Bewegung immer leitend mit den anderen Theilen verbunden bleibt. Einen ganzen geschlossenen Stromkreis kann man nie durch einen Strom in Rotation versetzen.

Alle diese Erscheinungen, die sich noch mehrfach modificiren lassen, hat Ampère in ein Gesetz zusammengefasst, welches man nach ihm das Ampère'sche Gesetz nennt. Dieses Gesetz sagt nämlich aus, wie gross die Kraft ist, die von irgend einem Stromelement auf irgend ein Element eines anderen Stromes ausgeübt wird. Es hängt die Grösse dieser Kraft (der elektrodynamischen Kraft) davon ab, welche Lage die beiden Stromstücke gegen einander haben. Die Kraft, die a b auf c d ausübt, ist eine andere, wenn sie wie in Fig. 155, als wenn sie wie in Fig. 156 gegen einander liegen. Ausserdem hängt die

Fig. 155.



Fig. 156.

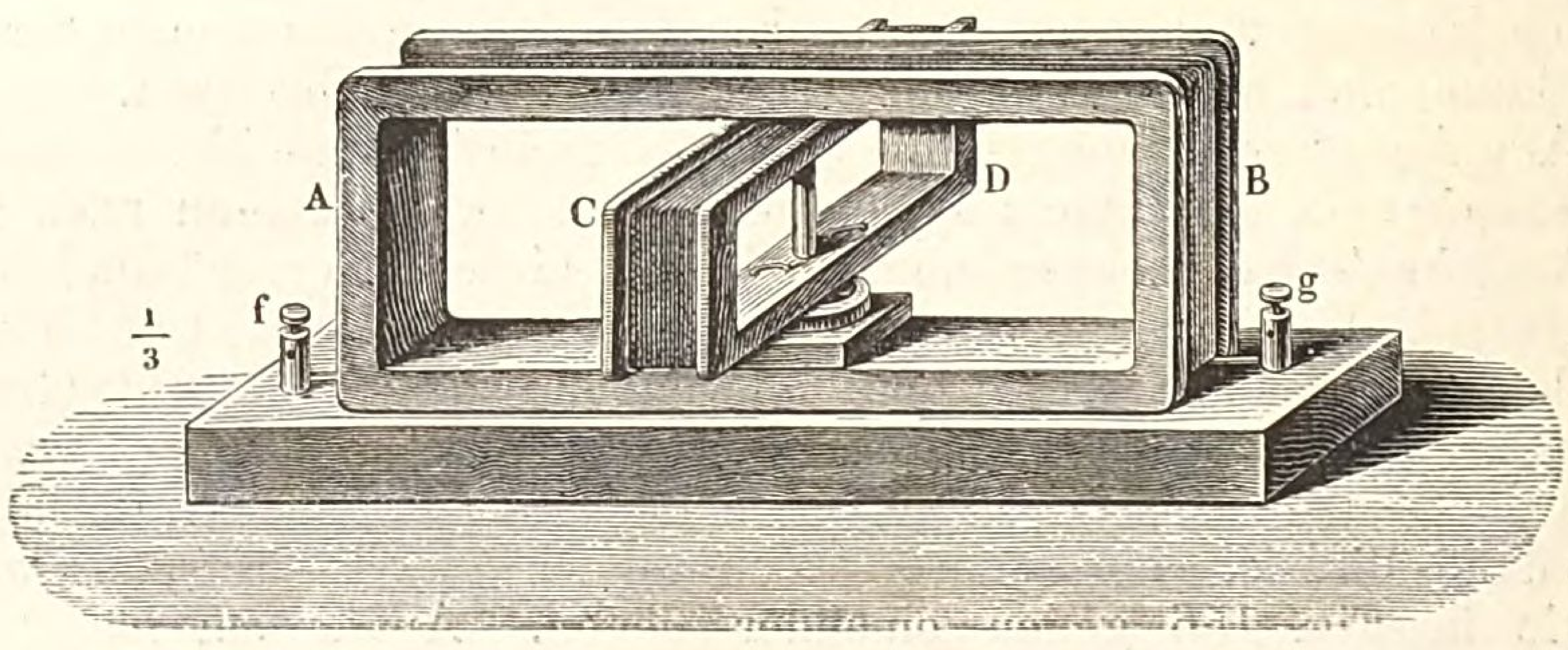


Kraft noch ab von der Entfernung der beiden Stromstücke von einander: sie wird um so kleiner, je weiter die Stromstücke von einander entfernt sind; und endlich hängt die Kraft ab von der Stärke der Ströme, die durch die beiden Leiterstücke fliessen. Je stärker die beiden Ströme sind, desto grösser ist auch die Kraft, mit welcher die Stromstücke auf einander wirken. Selbstverständlich haben wir es in der Natur nie mit einzelnen Stromstücken zu thun, sondern immer mit ganzen Stromkreisen. Wir müssen daher bei wirklichen Fällen, um die faktische Wirkung finden zu können, alle einzelnen Wirkungen aller Stromelemente addiren.

Es hat W. Weber durch eine grosse Reihe sehr sorgfältiger und scharfsinniger Experimente das Ampère'sche Gesetz geprüft und bestätigt gefunden. Es diente ihm zu dieser Untersuchung eine feste und eine bewegliche Drahtrolle, welche er in verschiedene Lagen gegen einander und in verschiedene Entfernungen von einander bringen konnte und durch welche er Ströme verschiedener Stärke senden konnte. Es zeigte sich dabei, dass die Kraft, mit welcher die bewegliche Drahtrolle von der festen angegriffen wurde, unter sonst gleichen Umständen (gleicher Lage und gleicher Form) direkt abhängt von dem Produkt der Stromstärken, die in den beiden Rollen herrschen. Weber construirte daher einen Apparat, das Elektrodynamometer, in welchem man direkt durch die Ablenkung eines beweglichen Stromkreises auf die Grösse des Produktes der Stromstärken schliessen konnte, welche in beiden Stromkreisen herrschen. Eine einfache Anordnung dieses Apparates zeigt Fig. 157. Sendet man also ein und

denselben Strom durch beide Drahtrollen hinter einander, so ist die Kraft, mit welcher die bewegliche Rolle gedreht wird, proportional dem Quadrat der Stromstärke. Es giebt also der Winkel, um

Fig. 157.



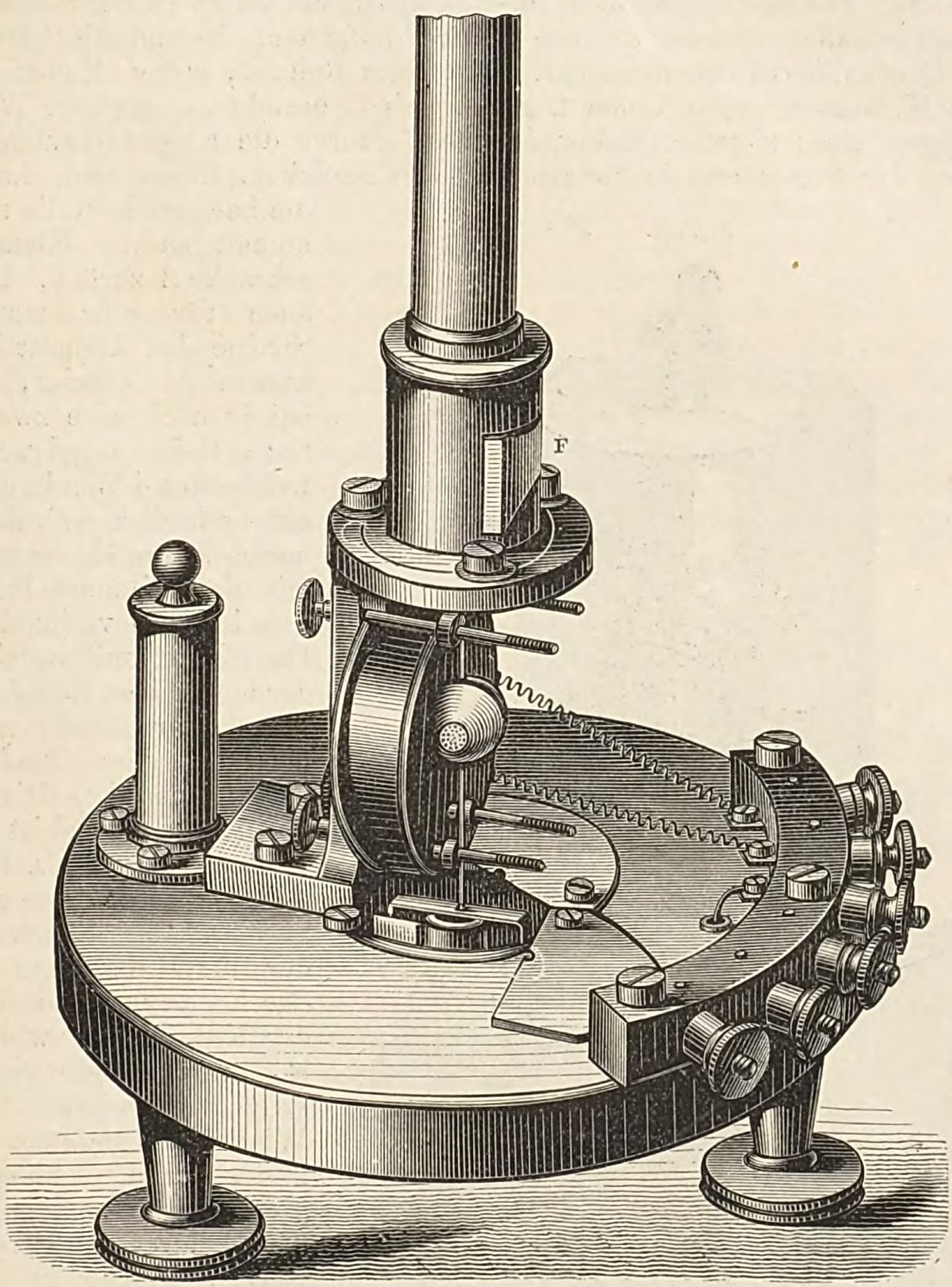
welchen sich die innere Rolle CD dreht, ein Mass für das Quadrat der Stärke eines Stromes. Wird der Strom in beiden Rollen zugleich commutirt, so ändert sich daher weder die Richtung noch die Grösse der Ablenkung.

Wie man jede Wirkung des Stromes, die in bestimmter Weise von seiner Intensität abhängt, auch zur Messung der Intensität benutzen kann, so lässt sich auch ein solches Elektrodynamometer als Apparat zur Messung der Stromstärke benutzen. Aus der Grösse der Kraft kann man ja direkt auf das Quadrat der Stromstärke schliessen. Und die Kraft wird ja leicht durch den Winkel gemessen, um welchen sich die bewegliche Rolle unter ihren Einfluss dreht. Mit einem Elektrodynamometer kann man auch, was man mit Voltametern und Galvanometern nicht kann, die Stärke von Strömen messen, deren Richtung rasch hinter einander wechselt, wie solche von den Wechselstrommaschinen geliefert werden, die wir im zweiten Theil besprechen werden. In der That bleibt ja die Ablenkung der beweglichen Rolle dieselbe, wenn der Strom in entgegengesetzter Richtung durch das Elektrodynamometer geleitet wird, weil er dann eben in beiden Rollen zugleich commutirt ist.

Bei allen Elektrodynamometern verschiedener Form befindet sich stets eine bewegliche Rolle innerhalb oder ausserhalb oder in der Nähe einer festen Rolle. Die Form der Rollen und ihre Lage kann verschieden sein. Wir beschreiben zuerst das Siemens'sche Elektrodynamometer für schwache Ströme, von dem Fig. 158 die Ansicht giebt. Dasselbe ist, wie alle feinen Instrumente für schwache Ströme, zur Spiegelablesung eingerichtet. Die bewegliche Rolle besteht aus Drähten, die, wie man in der Figur sieht, so aufgewunden sind, dass sie eine kleine Kugel bilden. Die Axe der Rolle trägt einen Spiegel, den man durch das Fenster F mittelst eines Fernrohrs beobachtet. Die Rolle ist kugelförmig gemacht, damit sie möglichst nahe an den festen Rollen sich befindet, von denen eine links in die Figur gezeichnet ist. Der Holzrahmen der festen Rolle hat nämlich eine kugelförmige Oeff-

nung, in welche die bewegliche Kugel grade hineinpasst. Der Strom wird durch die bewegliche und die feste Rolle hinter einander geleitet.

Fig. 158.

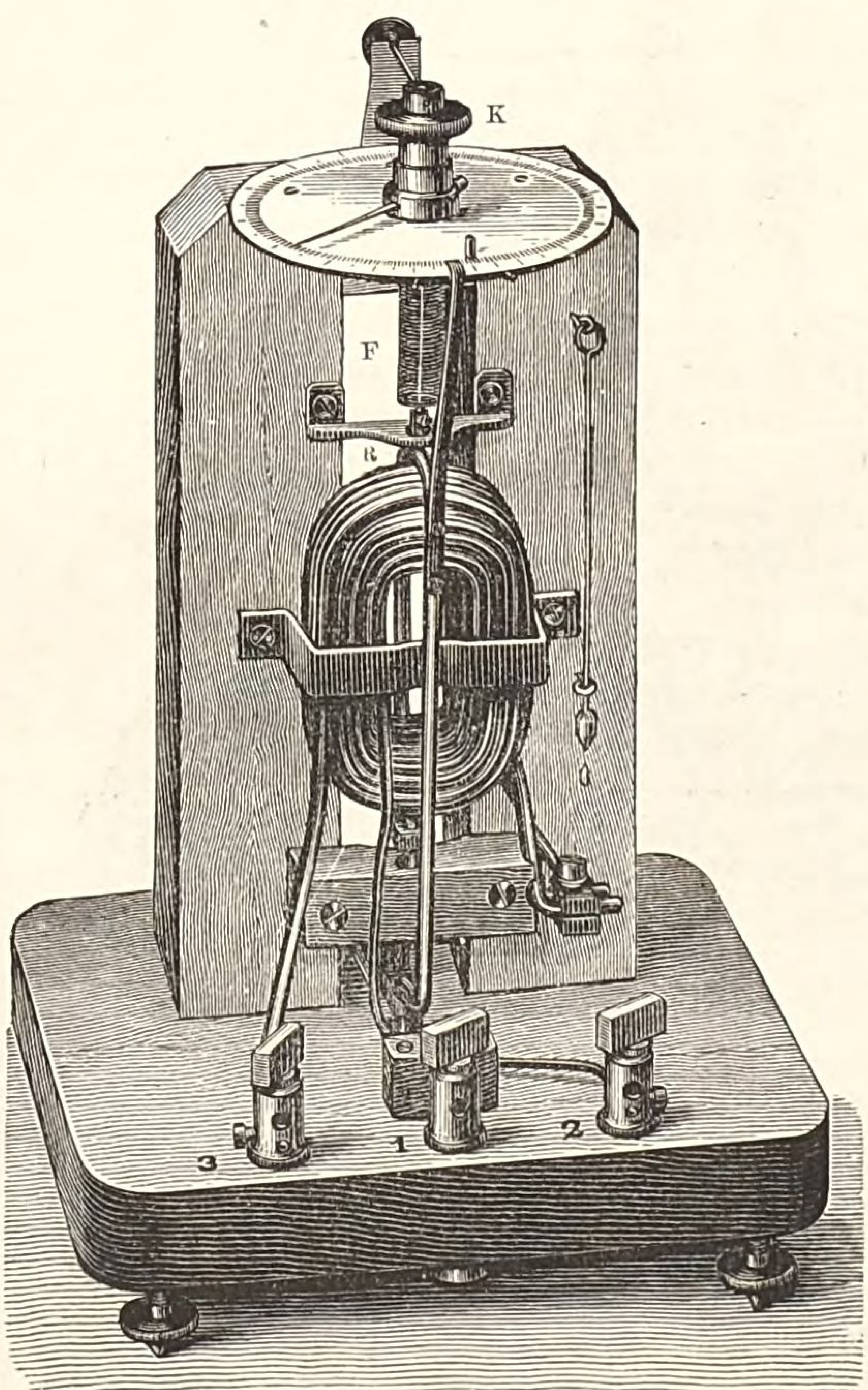


Das Instrument ist überaus empfindlich, insbesondere für die schwächsten Wechselströme. Bei der Messung von Flüssigkeitswiderständen mittelst der Wheatstone'schen Brücke nach der Kohlrausch'schen Methode (S. 131) kann man dieses oder ein ähnliches Elektrodynamometer in die Brücke einschalten.

Ein anderes Elektrodynamometer von Siemens dient grade umgekehrt dazu, um die starken Ströme leicht messen zu können, welche

von magnet- und dynamo-elektrischen Maschinen geliefert werden, mögen das nun Ströme von gleichbleibender Richtung oder Wechselströme sein. Die Fig. 159 giebt die Ansicht dieses Elektrodynamometers. Die bewegliche Rolle besteht hierin aus einem einzigen dicken Kupferstreifen, welcher an einer Feder F aufgehängt ist und mit Spitzen in Quecksilbernäpfchen taucht. Die feste Rolle R, deren Enden an die Klemmschrauben 1 und 2 geführt sind, besteht aus einigen Windungen eines ziemlich dicken Drahtes. Durch die Klemmschraube 1 wird der Strom erst in die feste Rolle eingeleitet, fliesst dann durch die bewegliche Rolle und kommt zu der Klemmschraube 2 zurück. Um auch für sehr starke Ströme den Apparat benutzen zu können, ist bei R noch eine zweite feste Rolle angebracht, welche aus 4 Windungen eines sehr dicken Drahtes besteht. Ihre Enden sind mit den Klemmschrauben 1 und 3 verbunden. Die Kraft, mit welcher der bewegliche Bügel abgelenkt wird, ist also proportional dem Quadrat der Stromstärke. Dieser Kraft proportional ist die Drehung des Bügels. Der Apparat ist aber so eingerichtet, dass man, wenn der Bügel abgelenkt ist, durch ein Zurückdrehen der Feder F ihn wieder in seine ursprüngliche Lage bringen kann. Der Winkel, um den man die Feder drehen musste, giebt dann ein Mass für das Quadrat der Stromstärke, welche in den Drähten des Apparates herrscht. Diesen Winkel liest man auf der Kreistheilung K an einem Zeiger ab, der sich mit der Feder dreht. Um die Angaben des Apparats in den gewöhnlichen Einheiten, in Ampères, ausdrücken zu können, genügt es, den Apparat zu aichen, den Reduktionsfaktor (s. S. 148) zu bestimmen. Man braucht nur einen Strom zu gleicher Zeit z. B. durch ein Kupfervoltameter und durch den Apparat hindurchgehen zu lassen. Dann

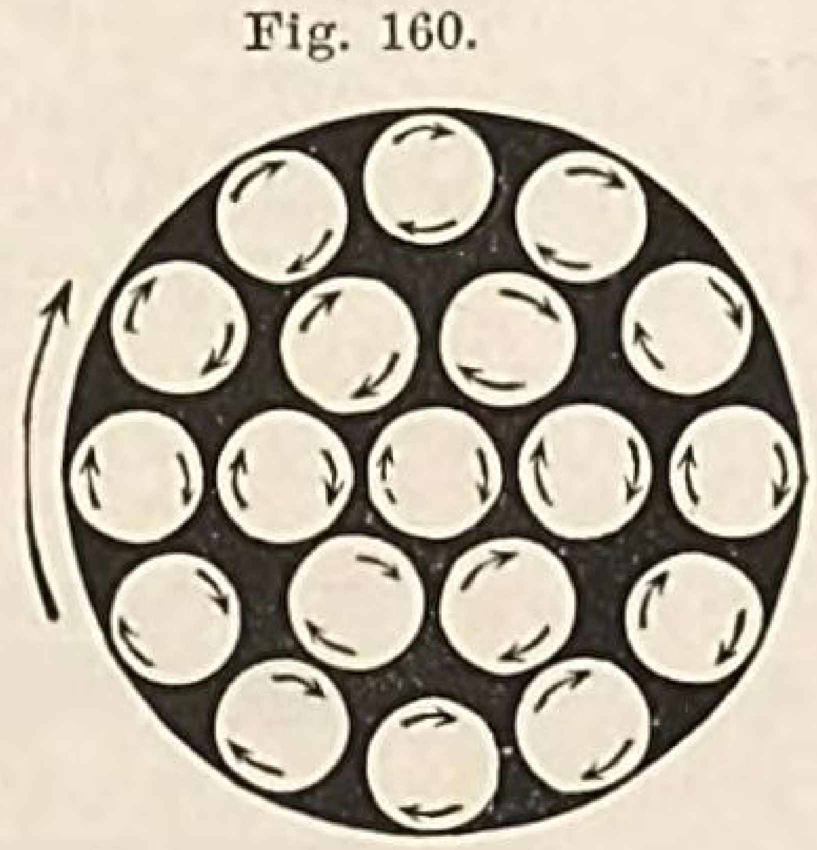
Fig. 159.



kann man aus der abgeschiedenen Menge Kupfer nach S. 124 sofort die Stärke des Stromes in Ampères angeben. Die Quadratwurzel aus der Angabe des Elektrodynamometers giebt ebenfalls die Stärke des Stromes an. Das Verhältniss beider Angaben ist der Reduktionsfaktor (auch Constante des Apparates genannt), und durch ihn reducirt man die Angaben des Elektrodynamometers auf Ampères.

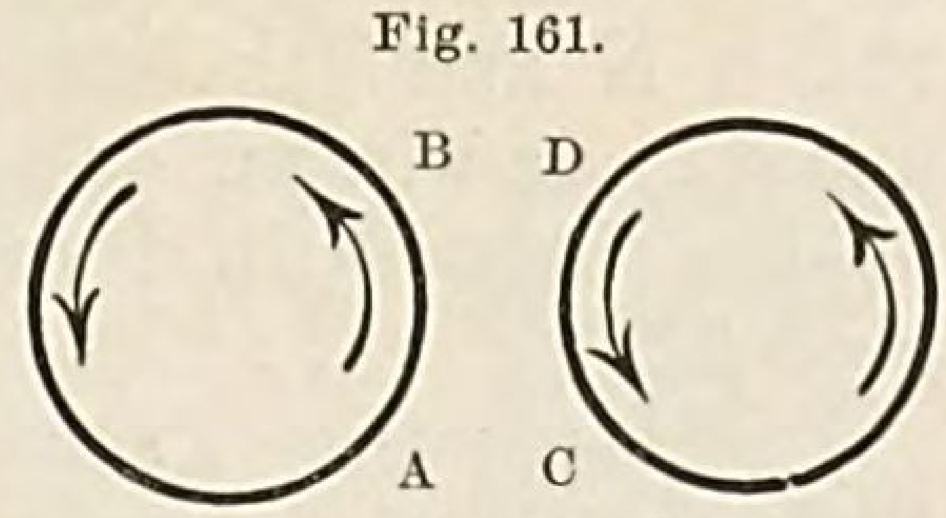
Die vollständige Analogie, welche zwischen Stromkreisen, insbesondere Solenoiden, und Magneten besteht, führte Ampère auf die Idee, dass man sich die Wirkungen eines Magnets erklären könne, wenn man ihn als ein System von galvanischen Kreisströmen ansähe. Wenn man annimmt, dass um jedes Molekül des Eisens ein galvanischer Strom im Kreise herumfliesst, so lassen sich alle Wirkungen eines Magnets durch die elektrodynamischen Wirkungen dieser Ströme, die Ampère Molekularströme nennt, erklären. In gewöhnlichem, unmagnetischem weichen Eisen liegen alle Moleküle mit ihren Molekularströmen ganz beliebig wirr durch einander. Wenn ein bestimmter Molekularstrom nach aussen z. B. anziehend wirkt, so giebt es immer einen anderen, der ebenso stark abstossend wirkt. Ein Stück Eisen, in welchem also die Molekularströme beliebig durch einander liegen, kann gar keine elektrodynamische Wirkung ausüben. Wenn man aber um dieses Stück Eisen eine Drahtspirale legt und einen Strom durch diese hindurchsendet, so wirkt dieser Strom auf jeden einzelnen der Molekularströme elektrodynamisch ein. Wir haben gesehen, dass gekreuzte Ströme sich immer parallel zu stellen streben. Wenn also die Moleküle mit ihren Molekularströmen frei beweglich sind, so müssen sich alle einzelnen Molekularströme so stellen, dass sie parallel und gleich gerichtet dem Strom in der Magnetisirungsspirale sind. Wenn also in Fig. 160 durch die Richtung des Pfeiles die Richtung des magnetisirenden Stromes gegeben ist, so müssen alle Molekularströme diesem Strom parallel und gleichgerichtet fliessen. Sie müssen sich also so einstellen, wie es die Figur durch die Pfeile in den kleinen Kreisen anzeigt.

Fig. 160.



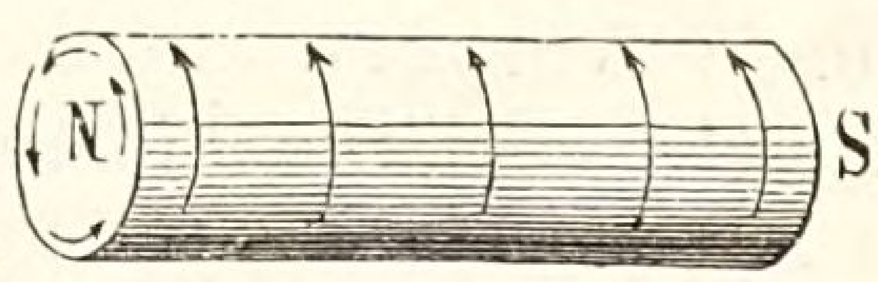
Wenn also ein Stück Eisen magnetisch ist, so fliessen in ihm alle Molekularströme in derselben Richtung parallel zu einander. Wenn nun zwei Molekularströme in gleicher Richtung fliessen, so erkennt man leicht, dass an den Seiten, wo sie zusammentreffen, die Richtung des Stromes in beiden entgegengesetzt ist. In Fig. 161 werden beide Molekularströme in derselben Richtung, der Richtung der Pfeile, durchflossen, an den Seiten AB und CD aber fliessen in Folge dessen die Ströme entgegengesetzt, der eine nach oben, der andere nach unten. Es heben sich in Folge dessen die Wirkungen aller dieser inneren Seiten auf, da sie sich entgegenwirken, und man kann nun annehmen, dass um jeden Magnet ein Strom herumfliesst, der die Summe der

Fig. 161.



äussersten Molekularströme ist. Einen Magnetstab (Fig. 162) kann man also einfach auffassen als einen Stab, welcher von einer grossen Reihe von parallelen galvanischen Strömen umflossen ist. Die Pfeile stellen die einzelnen Molekularströme dar. Alle Ströme fliessen parallel zu einander, die Pfeile haben alle dieselbe Richtung. Wenn man aber den Magnetstab von der Seite S ansieht, so fliessen die Pfeile um dieses Ende in derjenigen Richtung, welche ein Uhrzeiger bei seiner Umdrehung hat. Betrachtet man dagegen die Ströme von dem mit N bezeichneten Ende, so fliessen sie entgegengesetzt, wie der Zeiger der Uhr sich dreht. Obwohl also alle Molekularströme in gleicher Richtung fliessen, ist der Sinn der Stromrichtung für das eine Ende ein anderer, als für das andere. Das eine Ende wird ein Nordpol, das andere ein Südpol. Da wir bei der Magnetisirung durch einen Strom bereits gesehen haben, dass um den Südpol der magnetisirende Strom in der Richtung des Uhrzeigers fliesst, so können wir sofort sagen, dass auch die Molekularströme vom Südpol aus betrachtet die Richtung des Uhrzeigers haben werden. In der Fig. 162 sind die Molekularströme auch so gezeichnet.

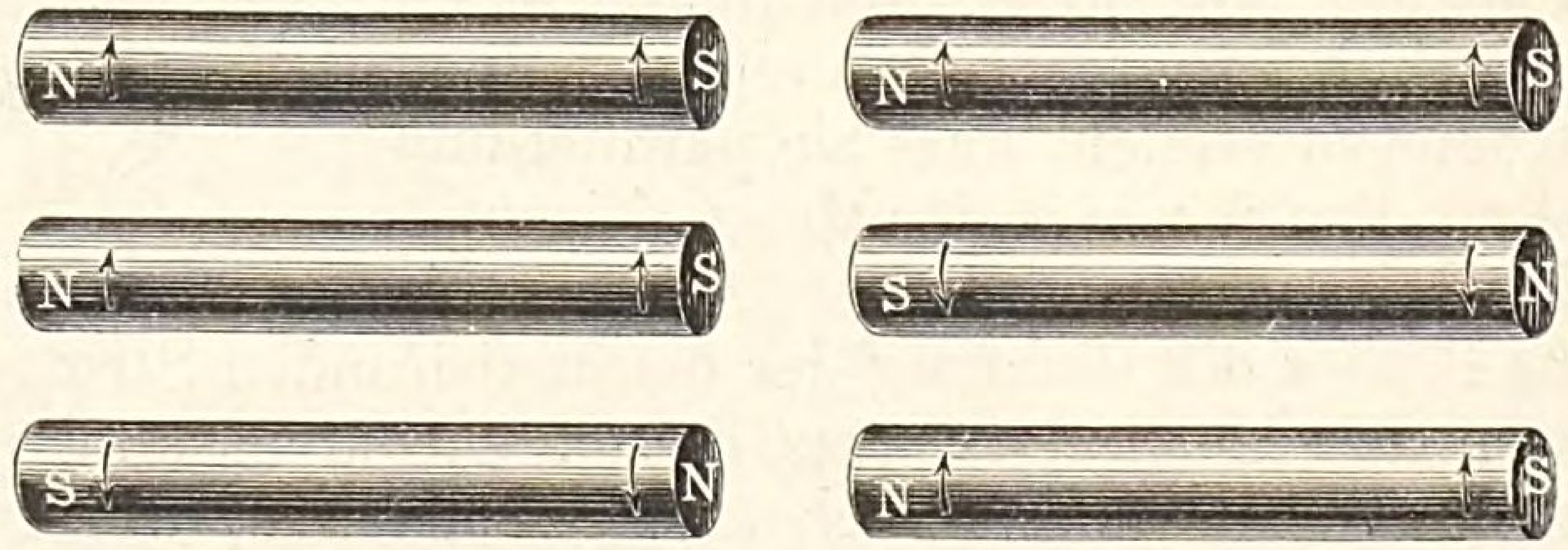
Fig. 162.



Nun kann man auch sofort die Anziehung und Abstossung von Magneten auf einander zurückführen auf die elektrodynamischen Anziehungen und Abstossungen und sie sich durch diese klar machen. In Fig. 163 sind drei Paare von Magnetstäben gezeichnet und zugleich die Richtung ihrer Molekularströme. Betrachten wir erst das

Fig. 163.

I, II, III



erste Paar, in welchem die beiden Magnetstäbe mit ihren entgegengesetzten Polen einander gegenüberliegen. Die Molekularströme fliessen bei beiden nach derselben Richtung, wie die Pfeile anzeigen. An den Enden N und S haben wir also gleichgerichtete und parallele Ströme, und da wir wissen, dass solche sich anziehen, so folgt daraus, dass die beiden Magnete in I sich anziehen müssen, wie es ja in der That der Fall ist.

Das zweite Paar von Magnetstäben dagegen liegt so, dass die Südpole einander gegenüberliegen. Die Molekularströme haben nun in beiden entgegengesetzte Richtung, wie man sich durch Anwendung des Uhrzeigers als Hülfsmittel sofort überzeugen kann. An den beiden Enden S und S fliessen also die Molekularströme parallel, aber in entgegengesetzter Richtung, folglich stossen sich die beiden Enden ab, wie es zwei Magnete in dieser Lage wirklich thun. Ganz dasselbe

findet bei dem dritten Paar von Magnetstäben statt, bei welchen die beiden Nordpole einander am nächsten sind. Die gegenseitige Anziehung und Abstossung von Magneten ist also auf diese Weise einfach und vollkommen erklärt. Sie ist zurückgeführt auf die elektrodynamische Anziehung und Abstossung von galvanischen Strömen.

Fig. 164.

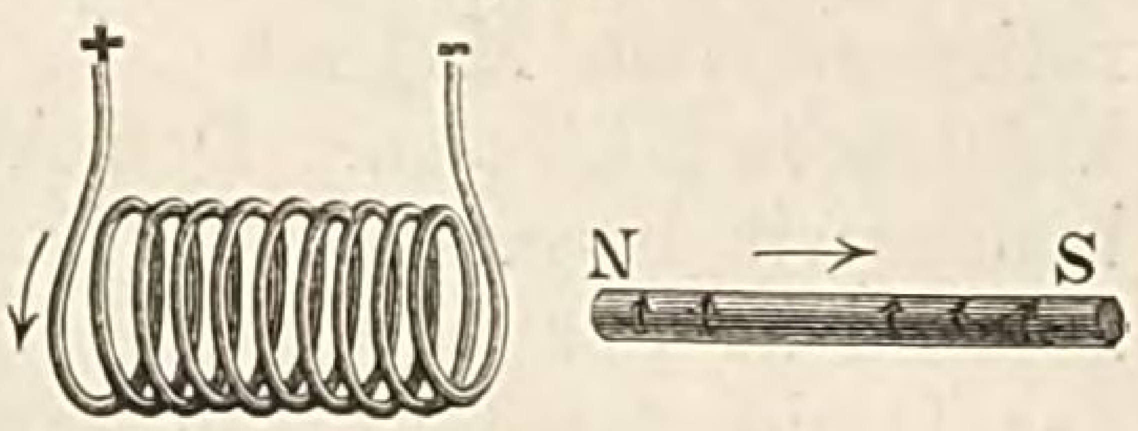
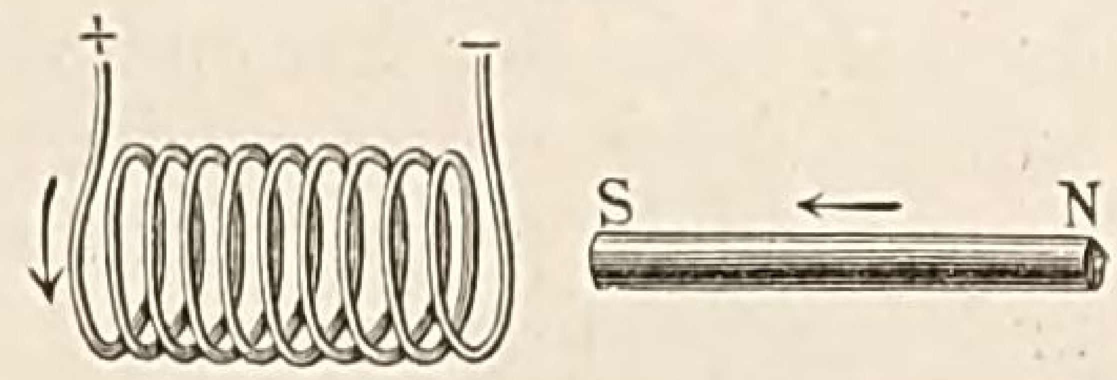


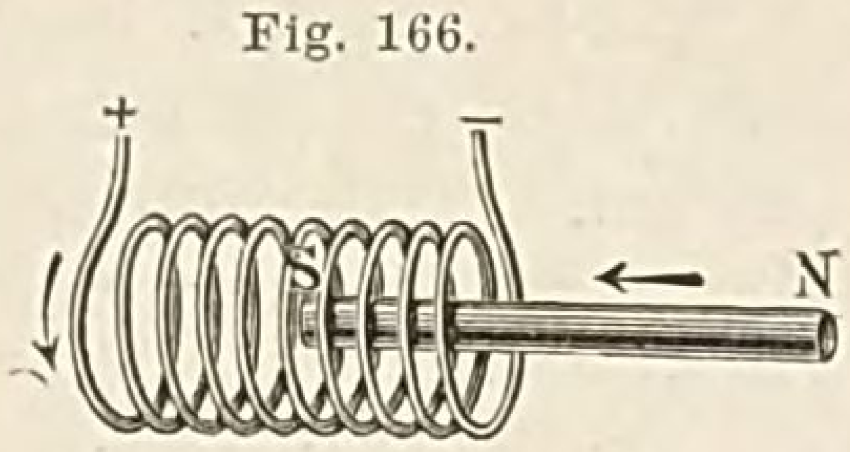
Fig. 165.



Ganz ebenso leuchtet jetzt die Einwirkung von Magneten auf galvanische Ströme und von galvanischen Strömen auf Magnete ein.

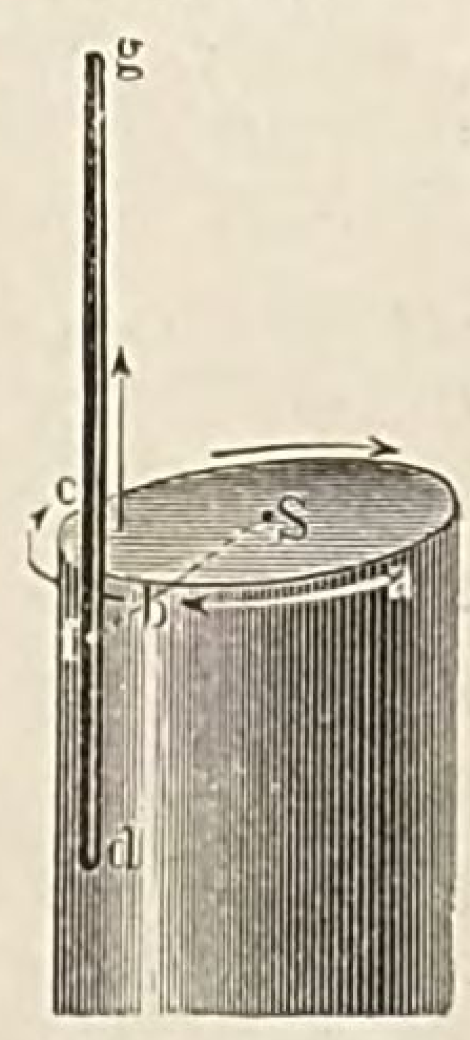
Betrachten wir z. B. eine Stromspirale in ihrer Wirkung auf einen Magneten, Fig. 164. In dem Magnetstab N S haben die Molekularströme die gezeichnete Richtung. In der Spirale aber fliesst der Strom in den einzelnen Windungen in entgegengesetzter Richtung wie die Molekularströme in dem Magneten. Wenn daher die Spirale fest ist, so muss der Magnet abgestossen werden; ist der Magnet fest, so muss die Spirale abgestossen werden. In Fig. 165 dagegen fliesst der Strom in der Spirale in derselben Richtung wie die Molekularströme in dem Magneten, folglich wird entweder der Magnet oder die Spirale angezogen, je nachdem der eine oder die andere frei beweglich ist. Ist der Magnet schon theilweise in die Spirale hineingezogen, wie in Fig. 166, so geht die Wirkung doch noch immer weiter, da jeder Theil der Spirale dieselbe anziehende Wirkung auf den Magneten ausübt. Der Magnet geht so lange in die Spirale hinein, bis seine Mitte gerade in der Mitte der Spirale ist, bei jeder weiteren Bewegung würde er wieder in diese Lage hineingezogen werden.

Fig. 166.



Ganz ebenso erklären sich nun die Erscheinungen ganz einfach, dass ein Magnet unter dem Einfluss eines Stromes, oder ein Strom unter dem Einfluss eines Magneten in fortdauernde Rotation kommt. Betrachten wir z. B. den Magneten in Fig. 167, von dem blos der Südpol gezeichnet ist. Die Pfeile a b und b c geben die Richtung der Molekularströme an. In d g ist ein Stück eines Stromes gezeichnet, der von d nach g, also nach oben fliesst, wie der Pfeil angiebt. Es ist absichtlich angenommen, dass der Draht d g über den Magneten hinausreicht, dagegen sich nach unten nicht bis zu dem Ende des Magnets erstreckt. Nach dem Ampère'schen Gesetz für gekreuzte Ströme wird nun das Stück a b des Molekularstromes den Draht f g von f an abstossen und das Stück b c wird ihn anziehen. Diese beiden Wirkungen unterstützen sich, so dass der Draht, wenn er frei beweglich ist, um den Magneten herumrotiren muss. Auf das Drahtstück d f wird grade die umgekehrte Wirkung ausgeübt, dieses wird von a b angezogen und

Fig. 167.



von b c abgestossen. Diese Wirkung strebt also danach, den Draht d b in umgekehrter Richtung zu drehen. Da aber absichtlich der Draht d g weit über das Ende des Magnets hinausragt und nicht bis zu dem unteren Ende reicht, so überwiegt die erste Wirkung und der Strom rotirt um den Magneten in derselben Richtung, in welcher die Molekularströme fliessen. Den Apparat, der diese Rotation veranschaulicht, haben wir bereits oben Fig. 124 beschrieben und abgebildet. Ist nun aber nicht der Draht d g beweglich, sondern der Magnet, während der Draht feststeht, so wird der Magnet rotiren und zwar muss er, wie dieselbe Betrachtung zeigt, grade in umgekehrter Richtung sich drehen, wie der Stromdraht sich drehen würde, wenn er beweglich wäre. Auch einen solchen Apparat, bei dem der Magnet sich unter dem Einfluss eines Stromes dreht, haben wir in Fig. 120 abgebildet und beschrieben.

Es lassen sich also alle Erscheinungen der Einwirkung von Magneten auf Ströme, und von Strömen auf Magnete überaus einfach durch Zuhülfenahme der Ampère'schen Molekurlarströme erklären und auf elektrodynamische Erscheinungen zurückführen.

Die in den beiden letzten Kapiteln beschriebenen Wirkungen des galvanischen Stromes haben eine grosse Zahl von Anwendungen gefunden. Insbesondere die Einwirkung eines galvanischen Stromes auf Magnete, respektive die Magnetisirung von Eisen durch den galvanischen Strom ist von der allergrössten Bedeutung geworden dadurch, dass sie ein einfaches und bequemes Mittel zur Zeichengebung in die Ferne, zur elektrischen Telegraphie bot. Im zweiten Theile werden diese Anwendungen des Elektromagnetismus ausführlich besprochen werden.

Wir hatten bei allen früher betrachteten Wirkungen des elektrischen Stromes, bei den Wärme-, Licht- und chemischen Wirkungen eine merkwürdige Reciprocität gefunden. Jede Wirkung, die ein elektrischer Strom hervorrief, war, wenn sie von der Richtung des Stromes abhängt, umgekehrt im Stande, selbst wieder einen elektrischen Strom zu erzeugen. Es liegt nahe, zu vermuthen, dass auch alle die Wirkungen, welche wir in den beiden letzten Kapiteln besprochen haben, Wirkungen, welche ja wesentlich von der Richtung des Stromes abhängen, umgekehrt selbst im Stande sein würden, elektrische Ströme hervorzubringen. Wir sahen, dass ein elektrischer Strom Eisen magnetisch macht; wir können fragen, ob nicht auch umgekehrt Magnetisirung von Eisen einen elektrischen Strom hervorbringt. Wir werden diese Frage mit Ja beantwortet sehen. Wir sahen, dass durch elektrische Ströme Magnete bewegt werden. Wir können fragen, ob nicht auch durch Bewegung von Magneten Ströme erzeugt werden. Auch diese Frage wird mit Ja beantwortet werden. Wir sahen, dass durch einen festen galvanischen Strom ein beweglicher bewegt wird, ja sogar in dauernde Rotation kommen kann. Es wird sich umgekehrt zeigen, dass durch die blosse Bewegung eines galvanischen Stromes auch Ströme erzeugt werden können. Kurz alle die Wirkungen, welche wir bis jetzt betrachtet haben, gestatten eine Umkehrung, und diese umgekehrten Wirkungen werden Induktionswirkungen genannt.

8. Kapitel.

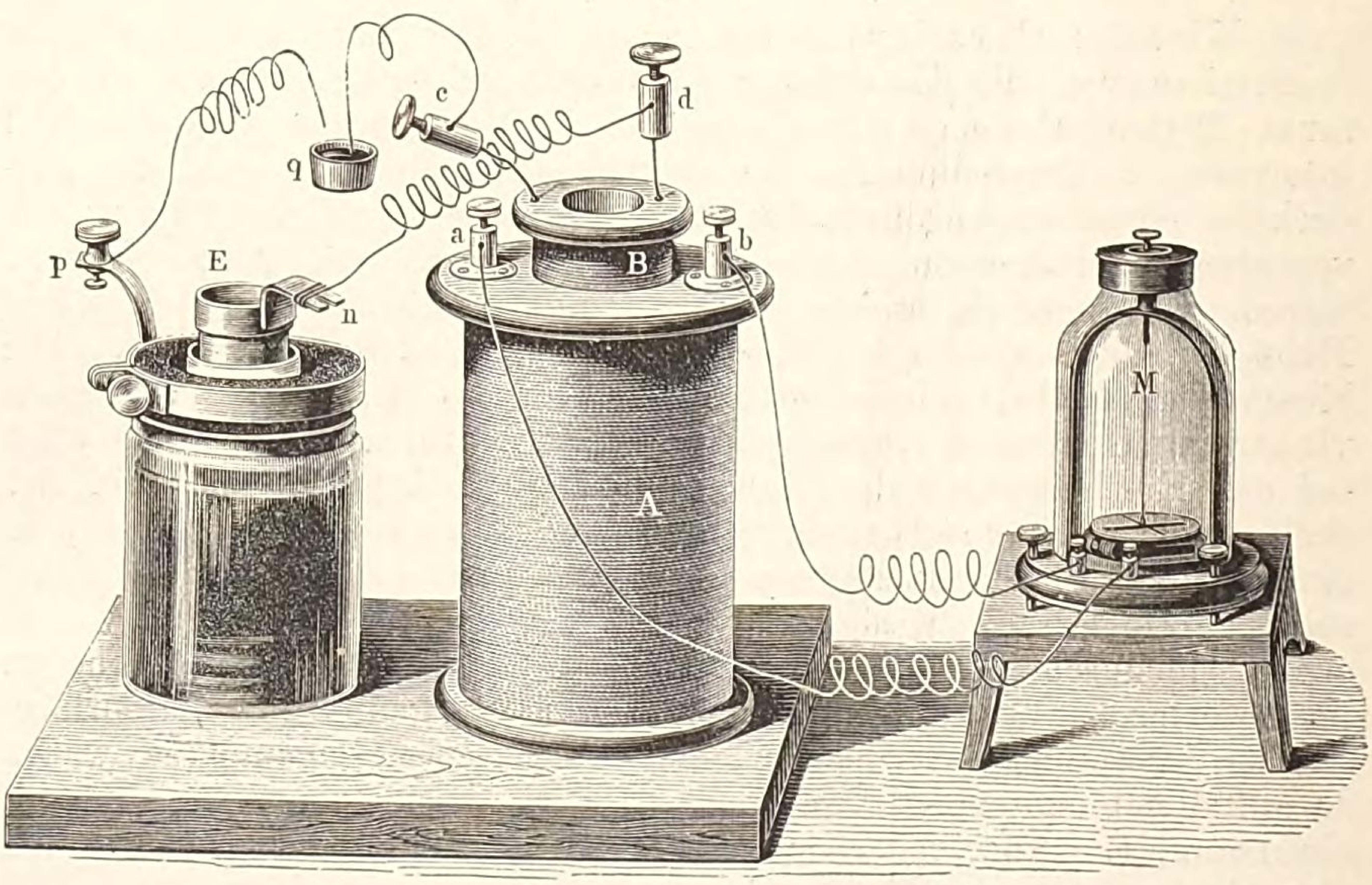
Induktion.

Michael Faraday, dessen Name bei der Entwickelung unserer Kenntnisse von der Elektricität in allererster Reihe genannt werden muss, Michael Faraday ist es, von dem die so überaus wichtigen und interessanten Erscheinungen der elektrischen Induktion nicht nur entdeckt, sondern auch vollständig erforscht wurden. Faraday ging aus von den Erscheinungen der elektrischen Influenz, die lange bekannt waren. Ein jeder elektrische Körper bringt auf einem anderen in seiner Nähe befindlichen, durch Influenz ebenfalls Elektricität hervor. Die blosse Anwesenheit eines elektrischen Körpers ist im Stande, einen vorher unelektrischen Körper elektrisch zu machen. Sollte nicht auch bei den Erscheinungen des Galvanismus etwas Aehnliches stattfinden? Sollte nicht auch durch einen Strom, der in einem Leiter fliesst, in einem anderen in der Nähe befindlichen geschlossenen Leiter ein elektrischer Strom erregt werden? Diese Frage stellte sich Faraday und suchte sie durch geschickt ausgedachte und ausgeführte Versuche zu beantworten. Was er fand, entsprach nicht ganz seinen ursprünglichen Vermuthungen; die von ihm entdeckten Erscheinungen waren so auffallend und wunderbar, dass er seine Anschauungen oft modificiren musste. Aber mit dem grössten experimentellen Scharfsinn und Geschick wusste er die Erscheinungen so zu verfolgen, dass fast alles, was wir von ihnen wissen, sein Werk ist. Man muss in den Originalberichten Faraday's nachlesen, wie viele mühevolle und schwierige Versuche fehlschlugen, wie endlich nach einer grossen Reihe von vielfach variirten Experimenten sich eine Spur der Wirkung zeigte, welche er suchte, und wie er dann diese Spur verfolgte und ausbeutete, um einen richtigen Begriff von Faraday's Genie zu bekommen. Jetzt, wo diese Erscheinungen genau bekannt sind, ist es nicht mehr nöthig, den mühevollen, stufenweisen Weg zu gehen, den Faraday einschlagen musste, jetzt können wir bald mitten in die Erscheinungen hineingreifen und von vornherein diejenigen Bedingungen annehmen, die sich als vortheilhaft erwiesen haben.

Immer, wenn ein elektrischer Strom in einem Stromkreis geöffnet oder geschlossen wird, entsteht in einem in der Nähe befindlichen geschlossenen Leiter ein momentaner elektrischer Strom.

Die beiden Leiterkreise sind also ganz von einander getrennt, es existirt gar keine leitende Verbindung zwischen ihnen und doch entsteht durch das Oeffnen und Schliessen eines von einem Strome durchflossenen Leiters in einem eben noch ganz stromlosen geschlossenen Drahtkreis ein momentaner galvanischer Strom. Dies ist die erste Art der Induktion, welche Faraday entdeckt hat. Um diese Erscheinung leicht hervorzurufen, ist es nothwendig, dass die beiden Stromkreise sich sehr nahe an einander befinden. Man nimmt deshalb am besten zwei Hohlcylinder von Holz und wickelt auf jeden von ihnen einen Draht spiralförmig auf. Den engeren Cylinder stellt man in die Höhlung des weiteren hinein. So hat man zwei getrennte Drähte, die einander sehr nahe sind. In der Fig. 168 sind diese beiden Cylinder

Fig. 168.



mit A und B bezeichnet. Die Enden des Drahtes auf dem weiten Cylinder sind nach den Klemmschrauben a und b geführt, die des Drahtes auf dem engen Cylinder nach c und d. Nun verbindet man den innern Draht mit einem Element E und den äusseren Draht mit dem Galvanometer M. Man hat so zwei geschlossene Leiterkreise; in dem inneren fliesst fortwährend ein Strom, in dem äusseren nicht. Sowie man aber jetzt den Strom in dem inneren Drahtkreis unterbricht, wird die Nadel des Galvanometers momentan abgelenkt, kehrt aber sofort wieder zurück. Sowie man den Strom in der inneren Spirale wieder schliesst, wird die Nadel wieder abgelenkt, aber ebenfalls nur einen Moment und kehrt auch sofort wieder zurück. Man kann den Strom in der inneren Spirale leicht unterbrechen und schliessen, indem man den einen Leitungsdraht, der zu der Spirale führt, in ein Gefäss mit Quecksilber q tauchen lässt, wie es die Figur anzeigt. Nimmt man den Draht aus q heraus, so ist der Strom unterbrochen;

taucht man ihn wieder ein, so ist er wieder geschlossen. Es wird also in der That durch die Oeffnung oder Schliessung des Stromes in B ein momentaner Strom in dem Leiter A erregt, welcher gar keine Verbindung mit B hat, welcher nur in der Nähe von B sich befindet. Man nennt diese momentanen Ströme Induktionsströme und kann also sagen, beim Oeffnen und Schliessen des Stromes in B wird in A ein momentaner Strom inducirt. Man nennt die Spirale B die inducirende Spirale, die Spirale A die inducirte oder Induktionsspirale. Die Induktionsspirale A wird am besten aus sehr feinem Kupferdraht verfertigt, welcher mit Seide umsponnen ist, damit man viele Windungen neben einander und über einander bringen kann, ohne dass sie in leitende Verbindung kommen. Die Spirale B besteht aus nicht zu dünnem Kupferdraht, damit der Strom in ihr recht stark wird.

Wenn man aber die durch die Induktionsströme hervorgebrachten Ausschläge der Nadel betrachtet, so findet man, dass ein Unterschied in der Richtung des Ausschlages stattfindet, je nachdem der inducirende Strom geöffnet oder geschlossen wird. Wird der inducirende Strom geöffnet, so geht die Nadel nach der einen Seite, wird er geschlossen, so geht sie nach der anderen Seite. Aus der Richtung der Nadelablenkung kann man schliessen, in welcher Richtung der positive Strom durch die inducirte Spirale läuft, und so findet man, dass der inducirte Strom, der durch Schliessen entsteht, in entgegengesetzter Richtung durch die Induktionsspirale läuft, wie der inducirende Strom durch die inducirende Spirale, dass dagegen der Induktionsstrom, der durch Oeffnen entsteht, dieselbe Richtung hat wie der Strom in der inducirenden Spirale.

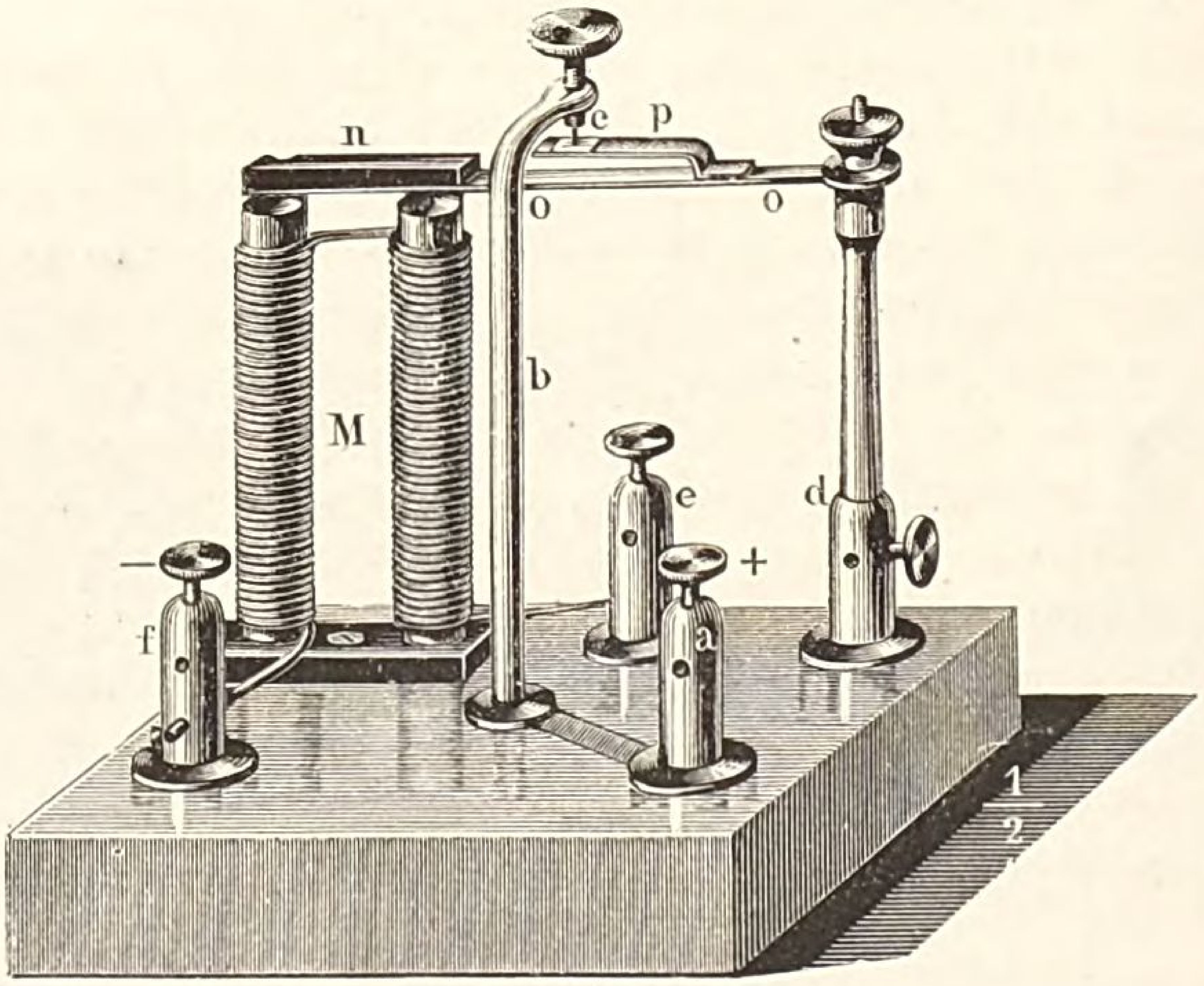
Man bezeichnet den inducirenden Strom, also den in der Spirale B, auch oft als den primären Strom und kann also sagen:

Der Induktionsstrom hat beim Schliessen die entgegengesetzte, beim Oeffnen die gleiche Richtung wie der primäre Strom.

Taucht man rasch hinter einander den von p kommenden Draht in das Quecksilbergefäss ein und zieht ihn wieder heraus, so bekommt man also rasch hinter einander momentane Induktionsströme nach der einen und nach der anderen Richtung. Wenn diese Ströme sehr rasch hinter einander folgen, so nennt man sie Wechselströme. Es kann also ein Stromkreis auch von Wechselströmen durchflossen werden, ebenso wie er von einem Strom mit gleichbleibender Richtung durchflossen wird. Bei Wechselströmen wechselt die Richtung des positiven Stromes in den Stromkreis immerfort und zwar sehr rasch hinter einander. Es ist natürlich nicht möglich, dadurch dass man den Draht aus dem Quecksilber mit der Hand herausnimmt und wieder einsteckt, sehr schnell wechselnde Ströme in der Induktionsspirale zu bekommen; man hat deshalb Apparate construirt, durch die der primäre Strom von selbst fortwährend geschlossen und unterbrochen wird. Der einfachste derartige Apparat ist der sogenannte Neef'sche Hammer. Seine Wirksamkeit beruht darauf, dass der Strom um ein Stück weichen Eisens herumgeführt wird, dieses also, wenn er fliesst, magnetisch macht. Der Magnet zieht dann einen Anker an; dadurch aber wird vermittelst

einer passenden Vorrichtung der Strom unterbrochen und in Folge dessen der Anker von dem Magneten wieder losgelassen. Die Einrichtung eines solchen Hammers ist in Fig. 169 gezeichnet. Der eine Pol des Elements wird mit der Klemme a verbunden und der Strom geht von da durch die Metallsäule b zu der Platinspitze c, welche auf die Feder p drückt, so dass der Strom durch diese Feder zu o und d kommt. Von d aus geht der Strom durch irgend einen äusseren Draht z. B. die primäre Spirale unseres Induktionsapparates und kommt von dieser nach der Klemmschraube e. Die Enden der primären Spirale sind also in d und e befestigt. Von e aus geht der Strom durch die Windungen des Elektromagnets M nach f und von dort zum Element zurück. Wenn der Strom um den Elektromagnet fliesst, wird dieser aber magnetisch und zieht den Anker n an. Dieser ist mit der Feder o und p verbunden, so dass zu gleicher Zeit die Feder p von der

Fig. 169.

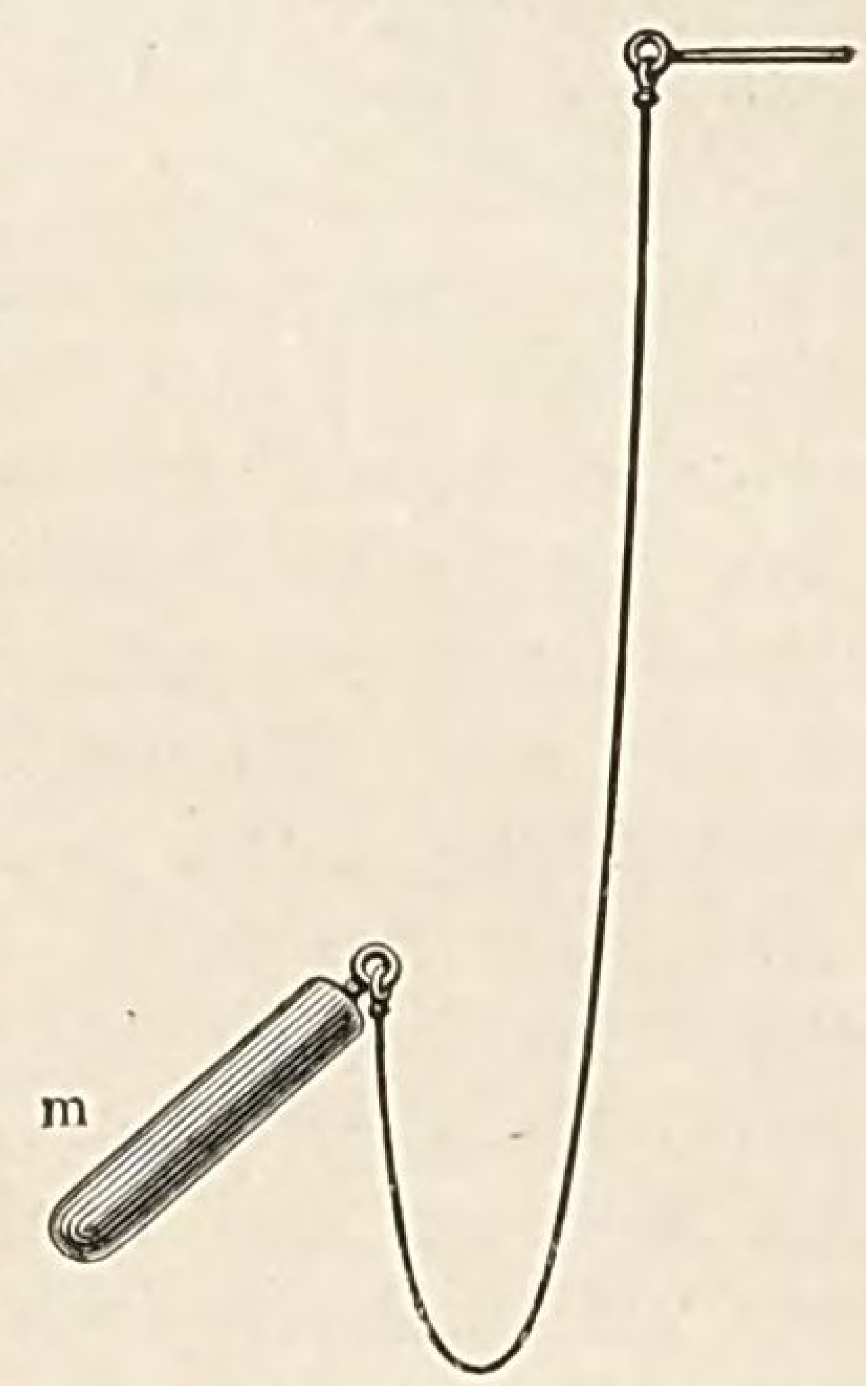


Platinspitze c weggezogen wird. Dadurch ist nun der Strom unterbrochen, folglich auch der Elektromagnet nicht mehr magnetisch. In Folge dessen wird n durch die Feder wieder in die Höhe gezogen und die Verbindung mit c wieder hergestellt und nun beginnt das Spiel von Neuem. Es findet also durch diesen Apparat von selbst eine fortwährende Schliessung und Unterbrechung des primären Stromes statt, folglich bekommt man in der inducirten Spirale fortwährend Induktionsströme, bald nach der einen, bald nach der anderen Richtung. Solche Ströme sind z. B. für medicinische Zwecke sehr nützlich. Man führt dann die Enden der inducirten Spirale in zwei Messingcylinder wie in Fig. 170 und giebt diese dem zu elektrisirenden Menschen in die Hände. Dann gehen die Wechselströme durch den menschlichen Körper und üben in gewissen Fällen heilsame Wirkungen aus.

Bei jeder Oeffnung und bei jeder Schliessung des primären Stromes werden also in der Induktionsspirale momentane Ströme erzeugt. Es ist aber gar nicht einmal nöthig, einen Strom ganz zu

unterbrechen, um einen Induktionsstrom zu bekommen. Schon jede Schwächung oder Verstärkung des primären Stromes erzeugt in der Induktionsspirale einen Induktionsstrom, und zwar hat in Bezug auf die Richtung des Induktionsstromes die Schwächung des primären Stromes dieselbe Wirkung wie die Oeffnung, während die Verstärkung dieselbe Wirkung hat, wie die Schliessung des primären Stromes.

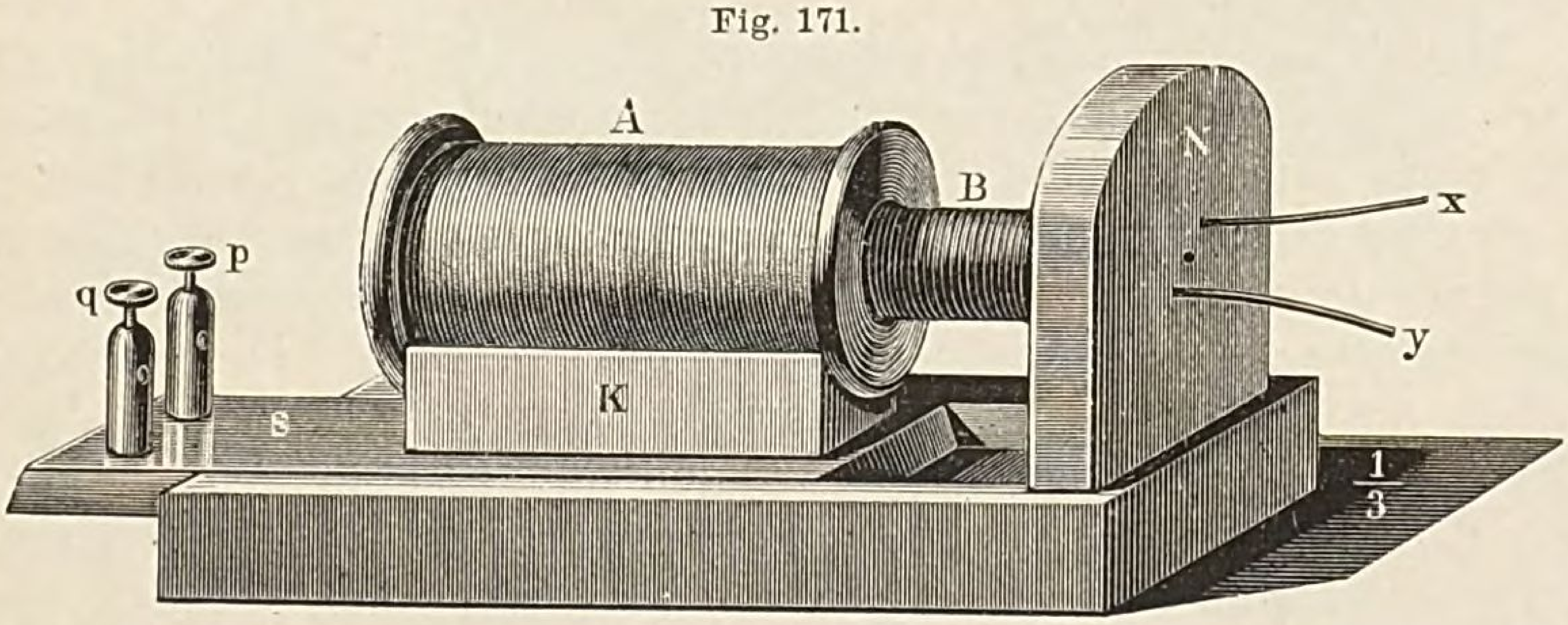
Fig. 170.



Ja noch mehr. Es ist nur nöthig, die eine Spirale gegen die andere irgendwie zu verschieben, um einen momentanen Induktionsstrom zu bekommen. Wenn man die inducirende Spirale B, die in Fig. 171 gezeichnet ist, nur aus der weiteren herauszieht (natürlich, während sie von einem Strom durchflossen ist), so erhält man in A schon einen Induktionsstrom. Schiebt man B wieder hinein, so erhält man wieder einen Induktionsstrom, aber von entgegengesetzter Richtung. Man braucht also die primäre Spirale der inducirten nur zu nähern oder zu entfernen, um einen Induktionsstrom zu erhalten. Nähert man die primäre Spirale der inducirten, so fliesst der Induktionsstrom in A in entgegengesetzter Richtung wie in B, also ebenso wie beim Schliessen des Stromes. Entfernt man dagegen B von A, so hat der Induktionsstrom in A dieselbe Richtung wie der Strom in B. Beim Entfernen hat also der Induktionsstrom dieselbe Richtung wie beim Oeffnen.

Bei dieser Näherung und Entfernung ist es natürlich gleichgiltig, ob die primäre Spirale beweglich, und die sekundäre, inducirte, fest ist, oder ob umgekehrt die primäre Spirale fest und die sekundäre beweglich

Fig. 171.



ist. In dem Apparat in Fig. 171 z. B. ist die primäre Spirale B fest und die inducirte Spirale A verschiebbar. Sowie man A von B entfernt, bekommt man einen Induktionsstrom in A, und ebenso, sowie man die Spirale A über die Spirale B schiebt, vorausgesetzt, dass in B ein Strom fliesst.

Also wenn ein stromloser Drahtkreis und ein von einem Strome durchflossener Drahtkreis ihre Lage gegen einander irgendwie ändern,

so entsteht immer in dem ersten ein momentaner Strom, der Induktionsstrom, und zwar hat der Induktionsstrom bei einer Annäherung der beiden Drahtkreise die entgegengesetzte, bei einer Entfernung dieselbe Richtung wie der primäre Strom.

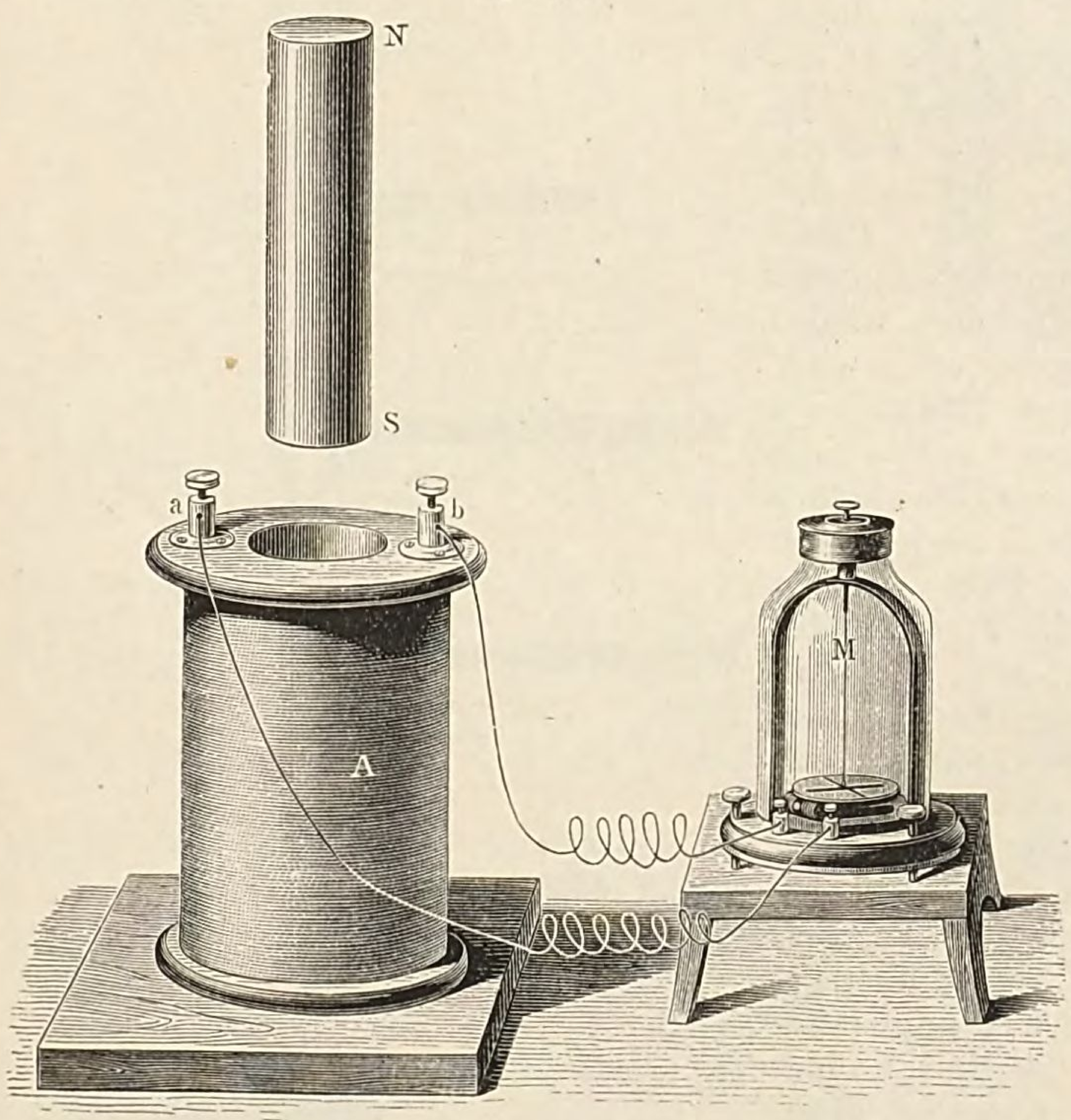
Man hat es also in der Hand, durch abwechselndes Annähern und Entfernen eines Stromkreises in einem anderen Leiterkreise fortwährend Ströme von abwechselnden Richtungen zu erzeugen. Geht die Annäherung und Entfernung der beiden Stromkreise sehr rasch hinter einander von Statten, so schliessen sich diese wechselnden Ströme continuirlich hinter einander an und machen den Eindruck eines ununterbrochenen Stromes. Es entstehen Wechselströme. Man kann aber hier schon erkennen, dass es sehr leicht ist, durch Induktion auch Ströme von constanter Richtung in der inducirten Spirale zu erzeugen. Wenn man nämlich die primäre Spirale mit einem Commutator in Verbindung setzt, so dass immer, wenn die andere Spirale ihr genähert wird, der Strom in entgegengesetzter Richtung durch sie läuft, als wenn die Spirale entfernt wird, so werden in der inducirten Spirale beide Male Ströme von derselben Richtung erzeugt. Und wenn die Annäherung und Entfernung rasch genug geht, so bekommt man in der inducirten Spirale in der That einen continuirlichen Strom von einer bestimmten Richtung. Es ist also möglich, durch Bewegung eines Stromes einen continuirlichen Strom von constanter Richtung in einem anderen Kreise hervorzubringen.

Die vielen Beziehungen, die wir zwischen galvanischen Strömen und Magneten gefunden haben, legen nun die Frage nahe, ob nicht auch Magnete in eben derselben Weise inducirend wirken können, wie Stromkreise. Und hiermit sind wir zu einer Reihe von Erscheinungen gekommen, die in den letzten Jahren der Anwendung der Elektricität eine gewaltige Erweiterung verschafft haben, zu Erscheinungen, welche die Grundlage der ganzen modernen Entwickelung der Elektrotechnik bilden.

Da ein Magnet, nach der Ampère'schen Theorie, aus einer grossen Menge von gleichgerichteten Molekularströmen besteht, so muss die Annäherung eines Magneten an einen geschlossenen Drahtkreis, also etwa an eine Drahtspirale, einen momentanen Induktionsstrom erzeugen, und ebenso muss durch die Entfernung des Magnets ein momentaner Induktionsstrom in der Drahtspirale erzeugt werden. Diese Folgerung aus allen unseren bisherigen Kenntnissen zeigt sich nun in der That bestätigt. Wenn man in Fig. 172 den Magnetstab N S der Drahtspirale A, deren Enden durch ein Galvanometer M verbunden sind, nähert, so entsteht in der Spirale ein momentaner Induktionsstrom, der die Magnetnadel des Galvanometers zum Ausschlag bringt. Entfernt man den Magneten von der Drahtspirale, so erhält man wieder einen momentanen Induktionsstrom, der aber nach der entgegengesetzten Richtung fliesst. Man kann dabei den Magneten ganz in die Spirale hineinschieben, man braucht das aber nicht zu thun. Jede Annäherung, jede Entfernung eines Magneten in Bezug auf die Drahtspirale bringt einen Induktionsstrom hervor. Ueber die Richtung der Induktionsströme kann man sich auch sofort klar werden, wenn man

sich die Molekularströme gezeichnet denkt. Um den Südpol fliessen die Molekularströme in der Richtung des Uhrzeigers, folglich fliessen sie in der Drahtspirale bei Annäherung eines Südpols umgekehrt, bei Annäherung eines Nordpols in derselben Richtung. Das Entgegengesetzte findet statt, wenn der Südpol oder Nordpol von der Spirale entfernt wird. Es lassen sich alle diese Fragen über die Richtung der Induktionsströme bei der Annäherung oder Entfernung von Strömen oder Magneten an Drahtkreise sehr einfach in ein Gesetz zusammenfassen, wenn man an die Anziehung und Abstossung denkt, die ein Stromkreis auf einen anderen oder ein Stromkreis auf einen Magneten ausübt.

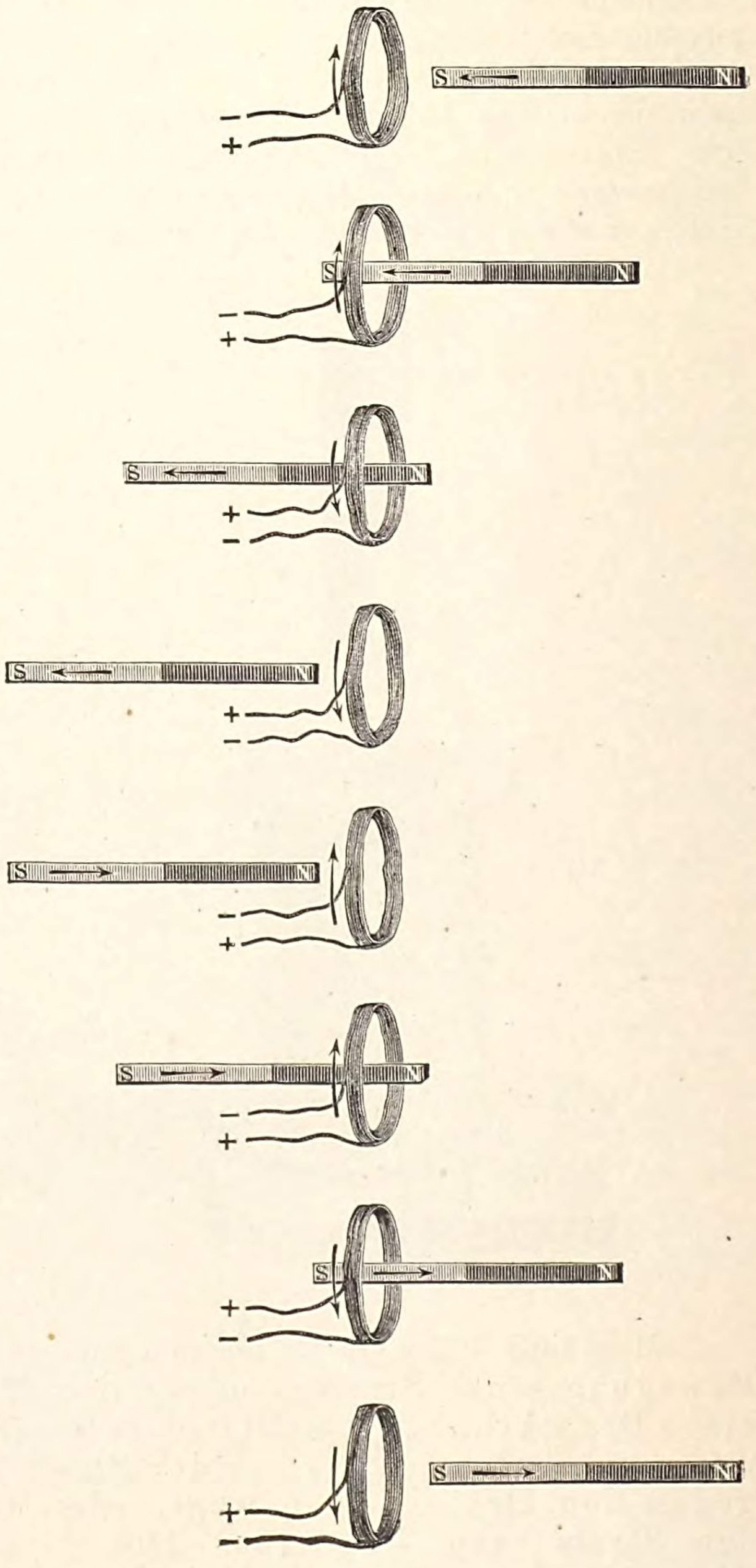
Fig. 172.



Man kann dieses Gesetz folgendermassen aussprechen: Bei jeder Bewegung eines Stromes oder eines Magneten in der Nähe eines Drahtkreises entsteht in dem letzteren ein Strom. Dabei ist es ganz gleichgültig, ob der Strom resp. der Magnet sich gegen den Drahtkreis bewegt, oder der Drahtkreis gegen den Strom resp. Magneten. Die Richtung des inducirten Stromes ist immer eine solche, dass derselbe vermöge der elektrodynamischen Wirkung auf den inducirenden Strom resp. Magneten diesem die entgegengesetzte Bewegung ertheilen würde. Wird also z. B. ein Nordpol genähert, so ist der Induktionsstrom von der Richtung, dass er den Nordpol abzustossen

suchen würde. Wird der Nordpol entfernt, so hat der Induktionsstrom eine solche Richtung, dass er den Nordpol anziehen würde. Dieses allgemeine Gesetz ist von Lenz ausgesprochen worden und heisst das Lenz'sche Gesetz.

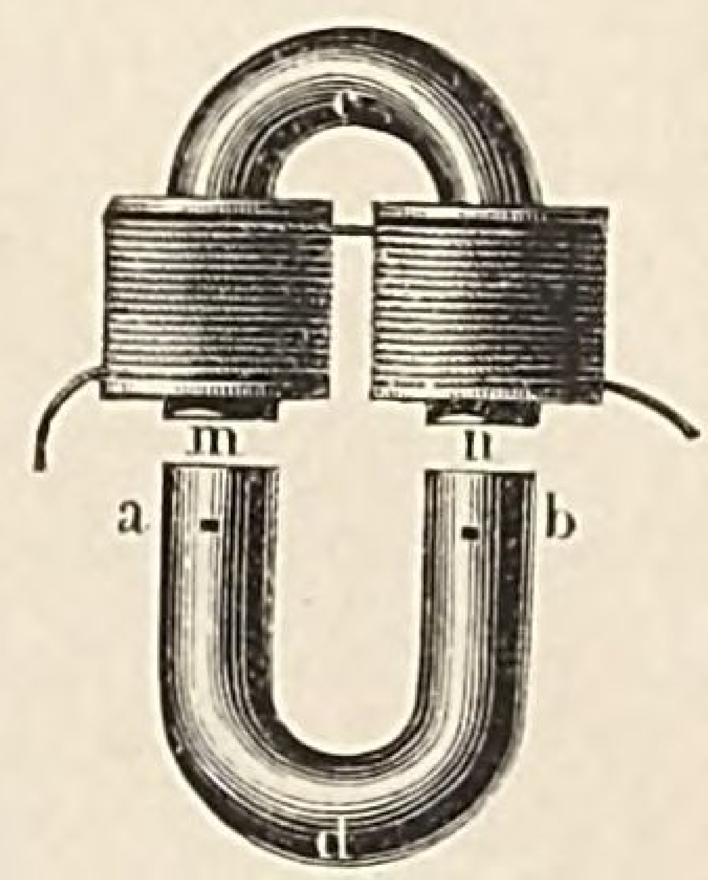
Fig. 173.



Aus dem Lenz'schen Gesetz lässt sich nun in jedem Falle die Richtung des Induktionsstromes bestimmen, der in einer Spirale durch Bewegung inducirt ist. Es ist z. B. in Fig. 173 ein Magnetstab NS gezeichnet, der in der Richtung der Pfeile durch eine Drahtspirale hindurch- und wieder zurückgezogen wird. An dem Südpol des Magneten gehen die Molekularströme vorn von oben nach unten und in Folge dessen fliesst der Strom in der Spirale bei der Annäherung des Südpoles vorn von unten nach oben, wie es in Nr. 1 gezeichnet ist. Dieselbe Richtung hat der Induktionsstrom noch in Nr. 2. Sobald aber die Mitte des Magnetstabes durch die Spirale hindurchgezogen ist, dreht sich der Strom um, wie in Nr. 3 und 4. Wird dann der Nordpol von links genähert, so dreht sich die Stromrichtung in der Spirale wieder um, wie in 5 und 6, und endlich, sobald die Mitte des Magnetstabes durch die Spirale gezogen ist, findet eine dritte Umkehrung der Stromrichtung statt. Wenn also der Magnet durch die Spirale hindurch- und wieder zurückgezogen wird, so erhält man dabei vier Induktionsströme mit abwechselnder Richtung.

Wir sind jetzt im Stande, durch einfache Bewegung einer Drahtspirale vor Magnetpolen oder von Magneten vor Drahtspiralen elektrische Ströme zu erzeugen, ganz ohne Anwendung von galvanischen Elementen. Vorläufig allerdings bekommen wir immer Ströme von fortwährend wechselnder Richtung, aber es wird uns möglich sein, diese Ströme durch Zuhülfenahme eines passend eingerichteten Commutators in Ströme von constant bleibender Richtung umzuwandeln. Wenn wir z. B. in Fig. 174 in a b einen Magneten haben, der in a seinen Nordpol, in b seinen Südpol hat, und wir stellen jedem dieser Pole eine Drahtspule gegenüber, die durch einen Holzgriff mit einander verbunden sind, so können wir durch Umdrehung dieser Spulen vor den Magnetpolen Wechselströme in ihnen erzeugen. Der Draht auf den beiden Spulen ist zusammenhängend. Wenn die eine Spule sich von dem Nordpol a entfernt, entfernt sich die andere zu gleicher Zeit von dem Südpol b. Damit nun diese Ströme sich in den Spiralen nicht entgegenwirken, sondern zusammensetzen, müssen die Windungen der Spiralen zweckmässig in einander übergehen. Wenn z. B. die Spirale a sich vom Nordpol entfernt, während die Spirale b sich vom Südpol entfernt, so fliessen die Induktionsströme in a entgegengesetzt wie der Zeiger einer Uhr, in b in derselben Richtung wie der Zeiger einer Uhr.

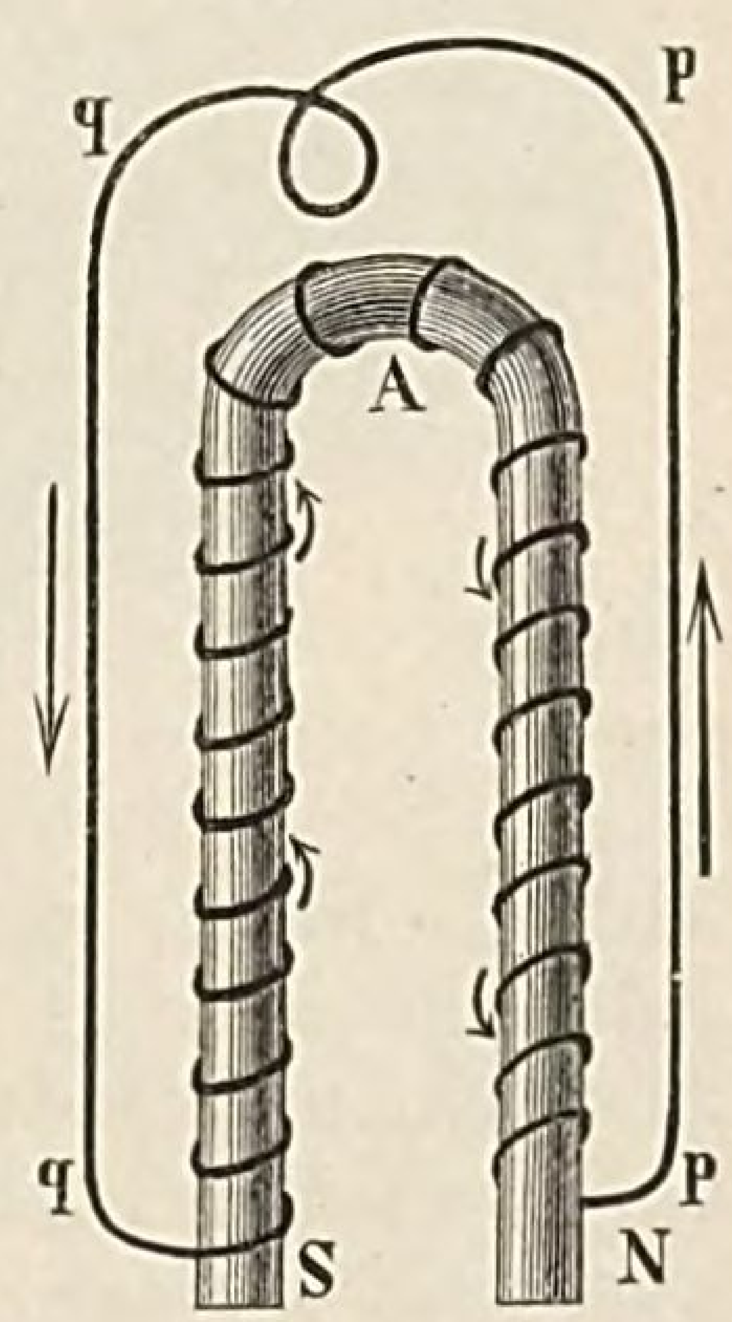
Fig. 174.



Man umwindet deshalb, damit die entgegengerichteten Ströme sich passend vereinigen können, die beiden Schenkel in entgegengesetzter Richtung mit dem Draht, wie es Fig. 175 zeigt, wo die Drahtwindungen aus einander gezogen sind, um ihren Lauf deutlicher sehen zu können.

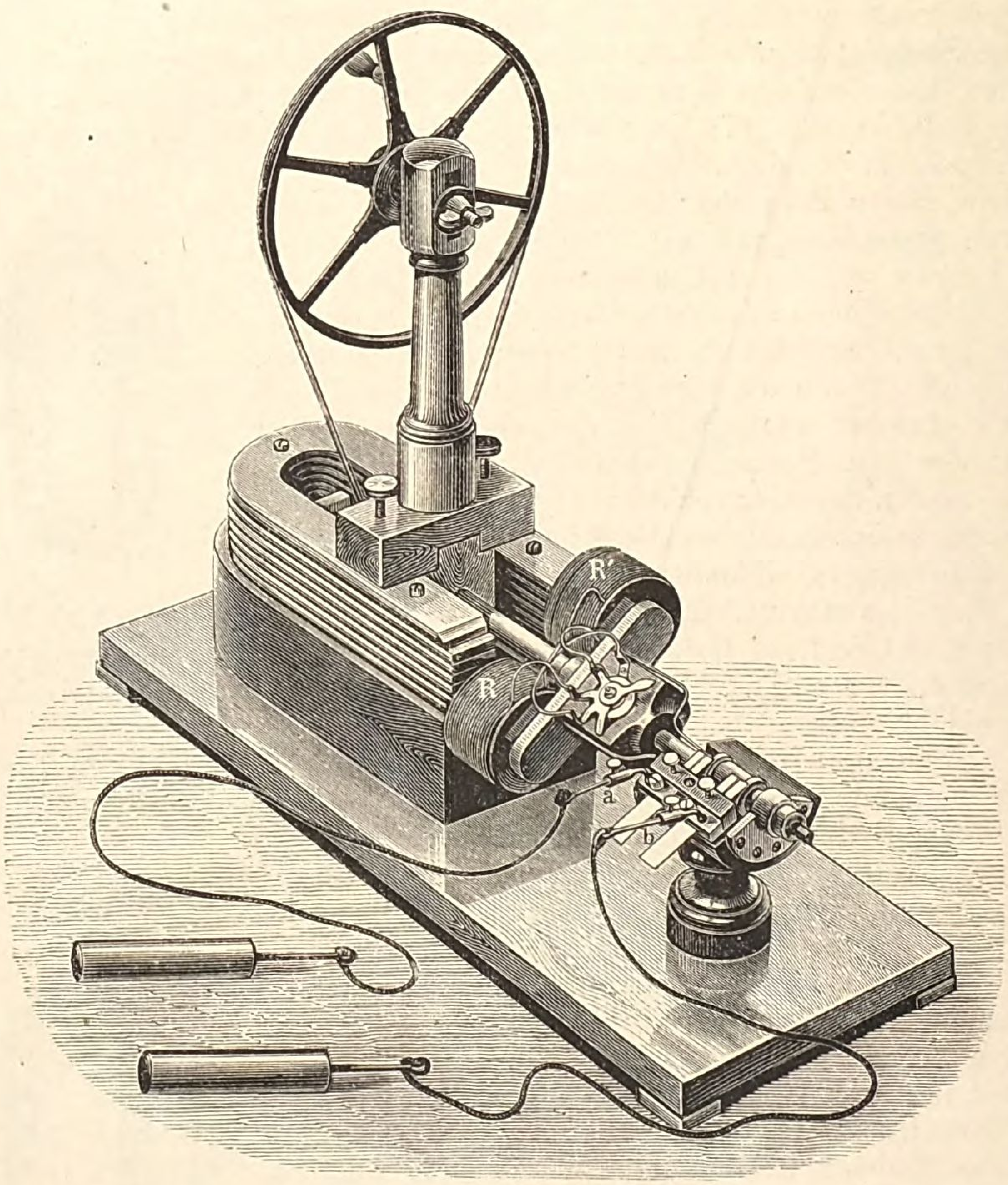
Sobald nun die beiden Drahtspulen sich zusammen bewegen, wird in beiden ein Induktionsstrom erregt, der beide in gleicher Richtung durchfliesst und von den Enden der Spulen nach aussen geführt wird. Die Fig. 175 zeigt den Stromlauf in den Schenkelwindungen und in dem äusseren Stromkreis qqpp. Haben die beiden Drahtspulen in Fig. 174 ihre Stellung gegen die Magnetpole vertauscht, so wird wieder ein neuer Induktionsstrom in ihnen erregt, und zwar in entgegengesetzter Richtung; denn wenn sie z. B. zuerst sich so bewegten, dass die eine sich von a, die andere von b entfernte, so bewegen sie sich jetzt so, dass die erste sich a nähert, die zweite b. Bei jeder halben Umdrehung der beiden Drahtspulen wird also ein neuer Induktionsstrom in ihnen erregt, und wenn man die Drahtspulen rasch rotiren läst, so bekommt man eine grosse Menge von abwechselnd gerichteten Strömen rasch hinter einander. Die Spulen und der sie verbindende Draht werden dann von Wechselströmen durchflossen.

Fig. 175.



Die Einrichtung, die hier schematisch beschrieben wurde, ist nun in vielen Apparaten wirklich ausgeführt. In dem Apparat in Fig. 176 z. B. liegt ein kräftiger Magnet auf einer Unterlage, und vor seinen

Fig. 176.



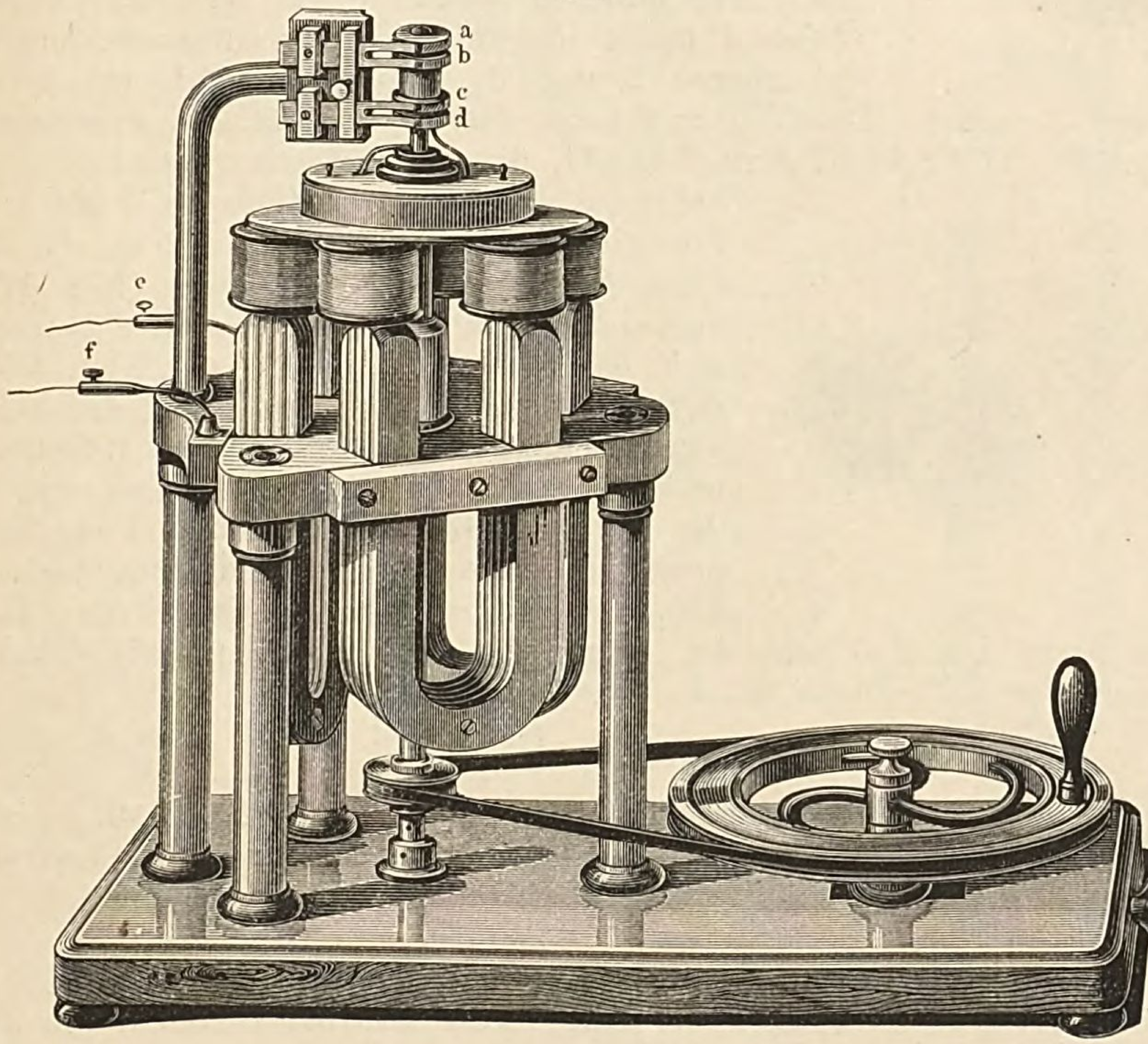
Polen werden swei Spulen R und R′ vermittelst eines Rades in rasche Rotation versetzt. Die Enden der Drahtspulen führen in zwei isolirte Metallstücke, welche sich mit den Spulen bewegen können, also z. B. auf zwei isolirte Stücke der metallischen Axe. Auf der Axe schleifen nun zwei Federn, welche also immer mit den Enden der Drähte in Verbindung sind. Sie bilden dadurch die festen Enden der beweglichen Spuldrähte.

Verbindet man diese Schleiffedern durch irgend einen Leiter, einen Apparat, oder durch den menschlichen Körper, wozu die in der Figur gezeichneten Handhaben dienen, so fliessen durch diesen Leiter die Wechselströme hindurch, die in den beweglichen Spulen erzeugt werden.

Man nennt eine solche Maschine eine magnetelektrische Maschine. Auf ganz demselben Princip beruht die in Fig. 177 abgebildete Maschine von Stöhrer.

In dieser stehen drei Magnete aufrecht und über ihnen sind 6 Spulen beweglich angebracht, die alle hinter einander so verbunden sind, wie es das Schema in Fig. 175 anzeigt. Die Enden der Drähte

Fig. 177.

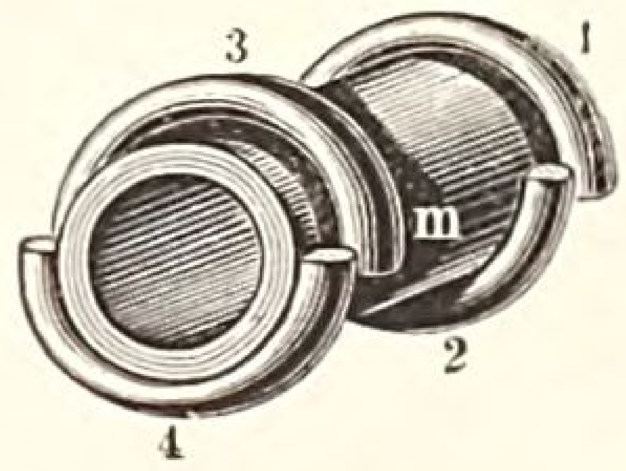


führen wieder zu zwei von einander isolirten Metallstücken, das eine z. B nach der Axe, das andere nach einem auf der Axe isolirt aufliegenden Metallstreifen und auf diesem schleifen wieder Metallfedern, welche in metallischer Verbindung mit den Enden e und f sind. Klemmt man in diese einen Schliessungsdraht mit seinen Enden ein und bringt man die Drahtspulen durch Drehen ihrer Axe mit dem Rade in rasche Rotation, so fliessen also auch jetzt wieder Wechselströme durch die Spulen und ihren Schliessungskreis.

Immer, wenn die Axe der Spulen sich um 60 ^{0} gedreht hat, eine Sechstelumdrehung gemacht hat, entsteht ein neuer Induktionsstrom und zwar in entgegengesetzter Richtung. Es fliessen also durch den Draht, der bei e und f eingeschaltet ist, Wechselströme hindurch. Wenn man nun aber bewirken kann, dass immer, wenn die Axe um 60 ^{0} gedreht wird, auch ein Commutator umgelegt wird, durch den der Strom von den Spulen zuerst geführt wird, so ist klar, dass dann durch den Draht

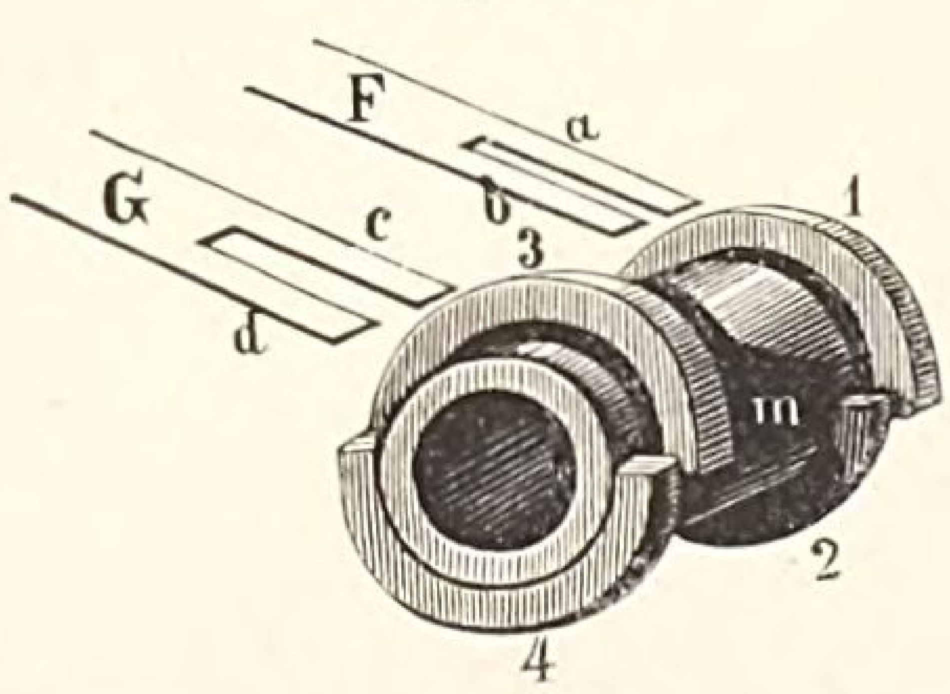
zwischen e und f die Ströme fortwährend in derselben Richtung fliessen müssen. Ein solcher Commutator ist nun an diesem Apparat angebracht, ebenso wie an dem in Fig. 176 gezeichneten Apparate. Er ist in Fig. 178 besonders gezeichnet.

Fig. 178.



Auf der Axe sitzt nämlich eine Hülse m von Metall, auf welcher 4 halbkreisförmige Wülste 1, 2, 3, 4 aufsitzen. Die Wülste 1 und 3 und ebenso 2 und 4 entsprechen einander in der Lage. Die Wülste 1 und 4 sind mit einander leitend verbunden und ebenso 2 und 3, dagegen sind 1 und 4 von 2 und 3 isolirt. Die Wirkungsweise dieses Commutators erhellt aus Fig. 179. Die Schleiffedern F und G, die in der Figur gezeichnet sind, haben nämlich je zwei Zinken a b und c d.

Fig. 179.



Die eine Schleiffeder F ist mit e, die andere G mit f in der Maschine (Fig. 177) verbunden und zwischen e und f befindet sich der äussere Stromkreis. Nun führt der eine Enddraht der Spulen zu den Wülsten 1 und 4, der andere zu den Wülsten 2 und 3. Steht der Commutator so wie in der Figur, so seien z. B. 1 und 4 mit dem positiven Ende des Spulendrahtes verbunden. Dann fliesst der positive Strom, da a und c auf 1 und 3 schleifen, dagegen b und d in der Luft sich befinden, der Reihe nach durch

$$1,\ a,\ F \rightarrow G,\ c,\ 3.$$

Hat sich die Axe um 60 ⁰ gedreht, so sind 2 und 3 positiv, 1 und 4 negativ und es schleift jetzt b auf 2 und d auf 4, während a und c in der Luft sind. Nun geht der positive Strom durch

$$2,\ b,\ F \rightarrow G,\ d,\ 4.$$

In beiden Stellungen der Axe fliesst also der Strom durch den Verbindungsdraht von F nach G, man erhält also in dem Schliessungskreise eine grosse Menge von gleichgerichteten Strömen, einen Strom, der von einem continuirlichen gar nicht zu unterscheiden ist, wenn nur die Rotation der Drahtspulen eine sehr rasche ist.

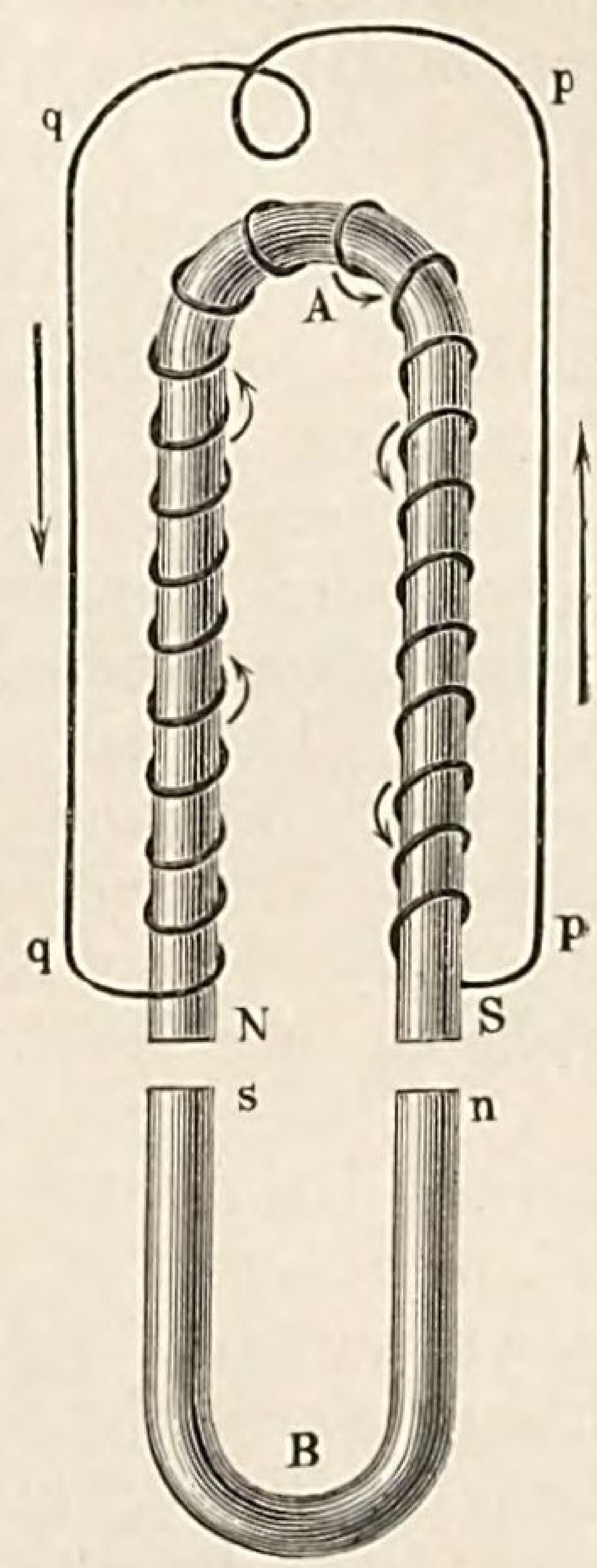
Wir haben also nun einen galvanischen Strom von fortwährend gleichbleibender Richtung erzeugt, ohne jede Anwendung von galvanischen Elementen.

Die blosse Aufwendung von Arbeit, um die Spulen vor den Magnetpolen zu drehen, hat uns in den Stand gesetzt, elektrische Ströme zu erzeugen. In den galvanischen Ketten wird, wie wir gesehen haben, die elektrische Strömung dadurch erzeugt, dass Zink in ihnen verbrannt wird. Die bei der Verbrennung des Zinkes entwickelte chemische Energie setzt sich direkt in elektrische Energie um. Jetzt haben wir direkt die Energie der Bewegung, die Arbeit, die wir zum Drehen unserer Spulen verwendet haben, in elektrische Energie umgesetzt. Dies ist der Punkt, an welchem die moderne Elektrotechnik

mit Macht angegriffen hat und von dem aus sie ihre glänzenden Resultate erlangt hat.

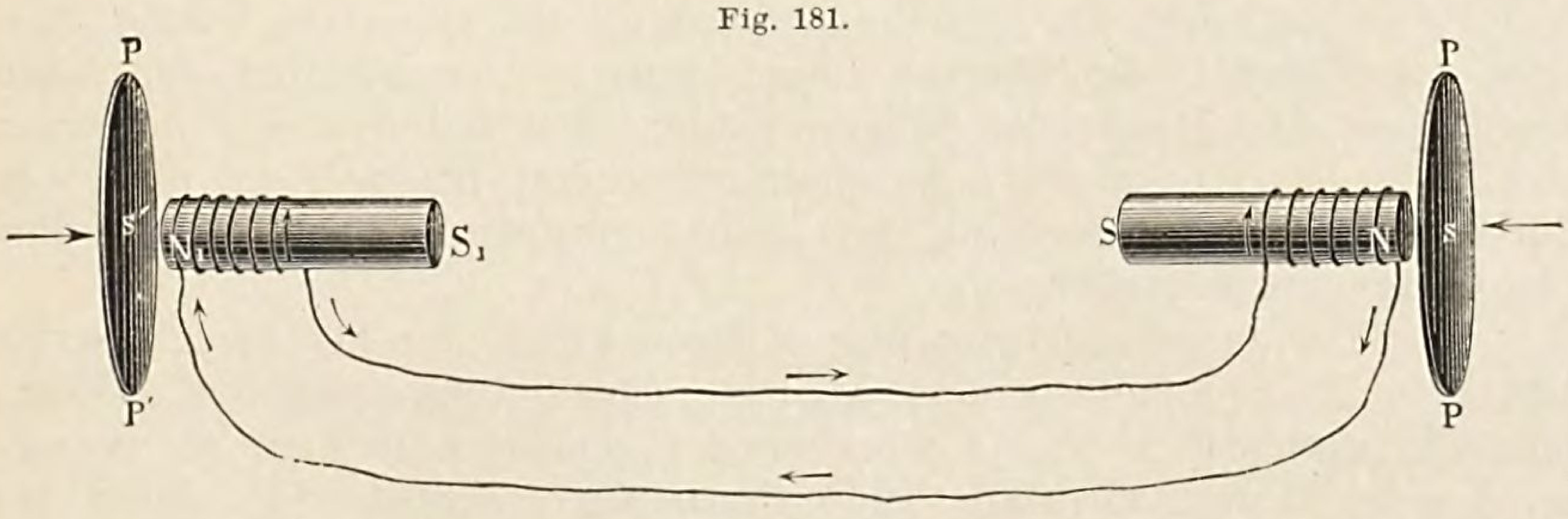
Ganz so wie die Bewegung wirkt aber auch die Verstärkung und Schwächung eines Magneten inducirend auf einen Stromkreis. Es ist ja das von vornherein nach der Ampère'schen Theorie einzusehen. Denn Magnetisiren besteht ja nach dieser Theorie in nichts Anderem, als im Gleichrichten der Molekularströme. Die Molekularströme, die sich vorher in ihren Wirkungen aufhoben, werden so gerichtet, dass sie wirksam werden, und müssen daher bei dieser Bewegung auch Induktionsströme erzeugen. Wenn man daher, wie in Fig. 180, ein weiches Eisenstück NAS mit Draht umwickelt und vor den Polen eines Magneten nBs dreht, so wird A selbst abwechselnd magnetisirt und daher entsteht ein Strom in seiner Umwickelung. Bei der in der Figur gezeichneten Stellung ist bei N ein Nordpol entstanden, folglich muss der Induktionsstrom die Richtung haben, dass er N zu einem Südpol zu machen sucht, wie es in der Figur gezeichnet ist.

Fig. 180.



Also eine jede Veränderung in der Lage und Stärke eines galvanischen Stromes oder in der Lage und Stärke eines Magneten erzeugt in einem in der Nähe befindlichen Drahtkreise einen Induktionsstrom. Bisher hatten wir immer einigermassen erhebliche Veränderungen der Lage oder Stärke angenommen. Diese Wirkung geht aber bis zu den allerkleinsten Veränderungen in der Lage und Stärke der inducirenden Magnete. Das wunderbarste und am genialsten aus-

Fig. 181.



gedachte Beispiel dieser inducirenden Wirkung ist das Bell'sche Telephon. Die Wirkungsweise desselben wird aus der schematischen Fig. 181 klar hervorgehen. In dieser Figur sind zwei Stahlmagnete NS und N_1S_1 an ihren Nordpolen N und N_1 mit einem Draht umwickelt, der die beiden Magnete mit einander verbindet. Vor jedem Nordpole steht in der Nähe eine dünne Platte aus weichem Eisen. In diesen wird durch die Wirkung der Magnete je ein Südpol s und s'

auf der den Magneten zugewendeten Seite inducirt. Drückt man nun die eine Eisenplatte z. B. s' ein wenig mit der Hand ein, so wird der Südpol dadurch dem Magneten und der diesen umgebenden Spirale genähert. In Folge dessen entsteht in dieser Spirale ein Induktionsstrom, welcher sich durch den Draht zu dem anderen Nordpol N fortpflanzt und diesen, da er umgekehrt wie der Zeiger einer Uhr um ihn fliesst, verstärkt. Dadurch wird aber nun die Platte s, in Folge der stärkeren Wirkung des Nordpols N ein wenig an N angezogen. Im Moment also, wo man s' ein wenig gegen N_1 herandrückt, wird s ein wenig gegen N herangezogen. Hätte man s' ein wenig von N_1 entfernt, so würde auch s sich sofort von N entfernen. Einer jeden Bewegung von s' entspricht also eine ebensolche Bewegung von s. Wenn man nun gegen die Platte s' spricht, so wird diese dadurch in sehr kleine Bewegungen, in sehr kleine Schwingungen versetzt. Jede Schwingung erzeugt einen Induktionsstrom und daher dieselbe Schwingung an der Platte s. Diese Schwingungen der Platte s theilen sich dann der Luft mit und so hört man in s das, was in s' hineingesprochen wurde. Wir werden im zweiten Theile Gelegenheit haben, uns mit der specielleren Einrichtung des Telephons und mit den an diesem Schema angebrachten Verbesserungen näher zu beschäftigen.

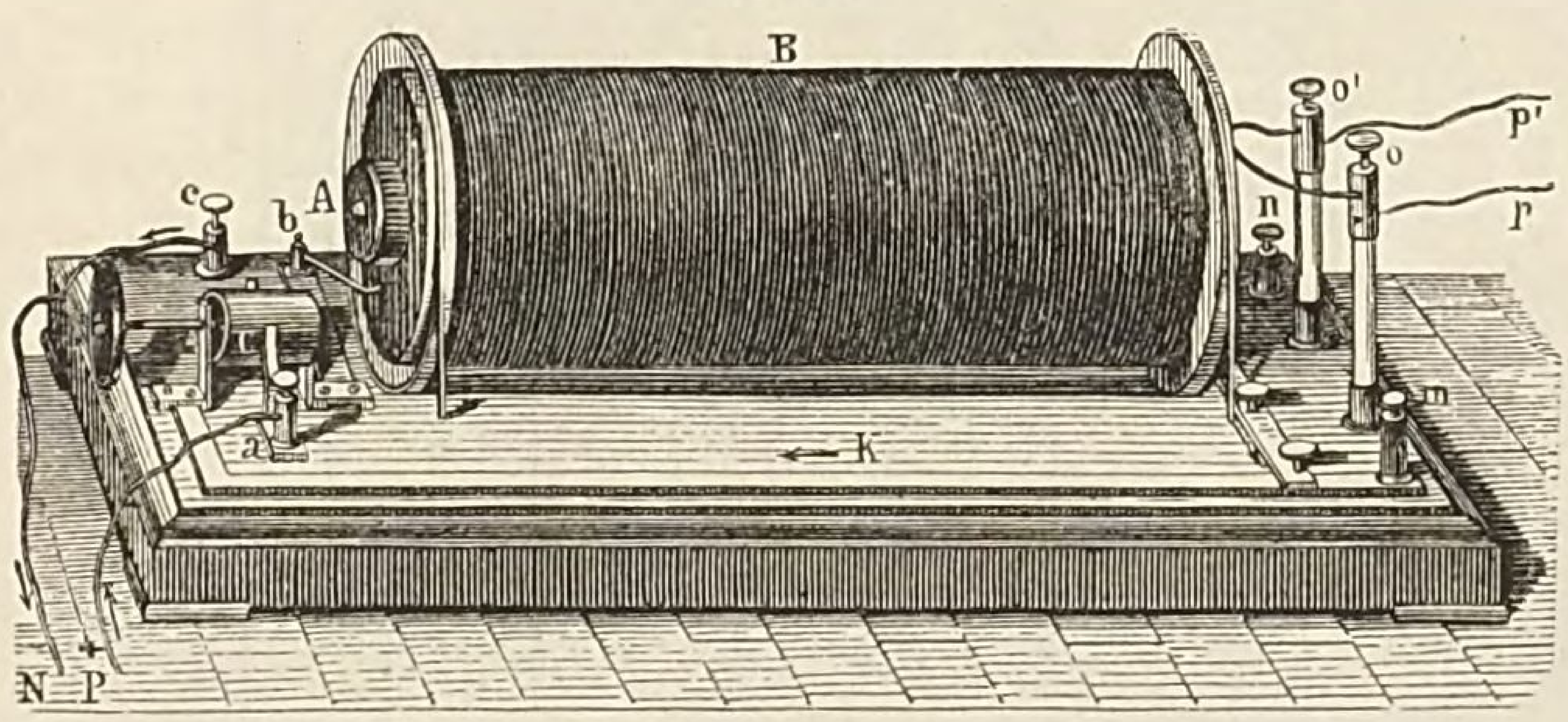
Ebenso wie in Drähten entstehen auch in ausgedehnten Metallmassen Induktionsströme durch Bewegung von Magneten oder Strömen. Wenn man z. B. eine kupferne Scheibe, wie es Arago gethan hat, rasch um ihre Axe dreht und über derselben eine Magnetnadel aufhängt, so werden durch diese Bewegung in der Kupferscheibe Induktionsströme erzeugt. Die Richtung der Ströme ist dabei wieder die, dass diese durch die elektrodynamische Wirkung die Scheibe in der entgegengesetzten Richtung forttreiben würden. Entfernt sich also z. B. in einem Moment ein Punkt der Scheibe von dem Nordpol der Magnetnadel, so würde diese elektrodynamische Wirkung diesen Punkt dem Nordpol zu nähern suchen. Daraus folgt, dass, wenn die Magnetnadel drehbar über der Scheibe aufgehängt ist, sie unter diesem Einfluss der Rotation der Scheibe folgen muss. Der Nordpol der Nadel muss eben dem Punkt der Scheibe folgen, der sich von ihm entfernen will. Es hat Arago diese Erscheinung zuerst beobachtet, aber erst durch Faraday's Entdeckung der Induktionsströme wurde sie auf ihre Grundlage zurückgeführt.

Eine andere Folgerung dieser Erscheinung hat bei der Construktion von Galvanometern eine wichtige Anwendung gefunden. Wenn eine Magnetnadel in einem metallenen Gehäuse schwingt, so werden in diesem Metall ebenfalls Induktionsströme erregt und durch die elektrodynamische Anziehung wirken diese der Bewegung der Magnetnadel entgegen. Die Magnetnadel hört in Folge dessen bald auf zu schwingen, ihre Schwingungen werden rasch gedämpft. Man umgiebt deshalb, wie wir S. 152 gesehen haben, bei vielen Galvanometern den Magneten mit einer solchen dämpfenden Kupferhülse und hat dadurch den Vortheil, dass die Nadel des Galvanometers sich fast momentan in ihre bestimmte Stellung begiebt, ohne lange hin und her zu schwingen. Allgemein nennt man die Ströme, die durch Induktion

in ausgedehnten Metallmassen entstehen, jetzt (missbräuchlich) Foucault'sche Ströme. In der Construktion der Dynamomaschinen ist oft die Frage nach diesen Strömen entscheidend für die Güte der Construktion.

Die Induktionsströme, die durch Oeffnen und Schliessen des primären Stromes entstehen, werden viel stärker, wenn man in die primäre Drahtspirale einen Eisenkern hineinbringt und dann den Strom abwechselnd schliesst und öffnet. Denn dann erhält man nicht nur die Induktionsströme von dem entstehenden und vergehenden Strom, sondern auch die Induktionsströme von dem entstehenden und vergehenden Magnetismus in der inducirenden Spirale und diese wirken zusammen, verstärken sich und machen daher die Inductionswirkungen viel kräftiger und stärker. Wenn man also in die primäre Spirale einen Kern von weichem Eisen hineinbringt, entweder einen massiven Eisencylinder oder noch besser ein Bündel von Eisendrähten, so wird die inducirende Wirkung der primären Spirale ausserordentlich vergrössert. In Fig. 182 ist ein solcher Induktionsapparat mittlerer Grösse

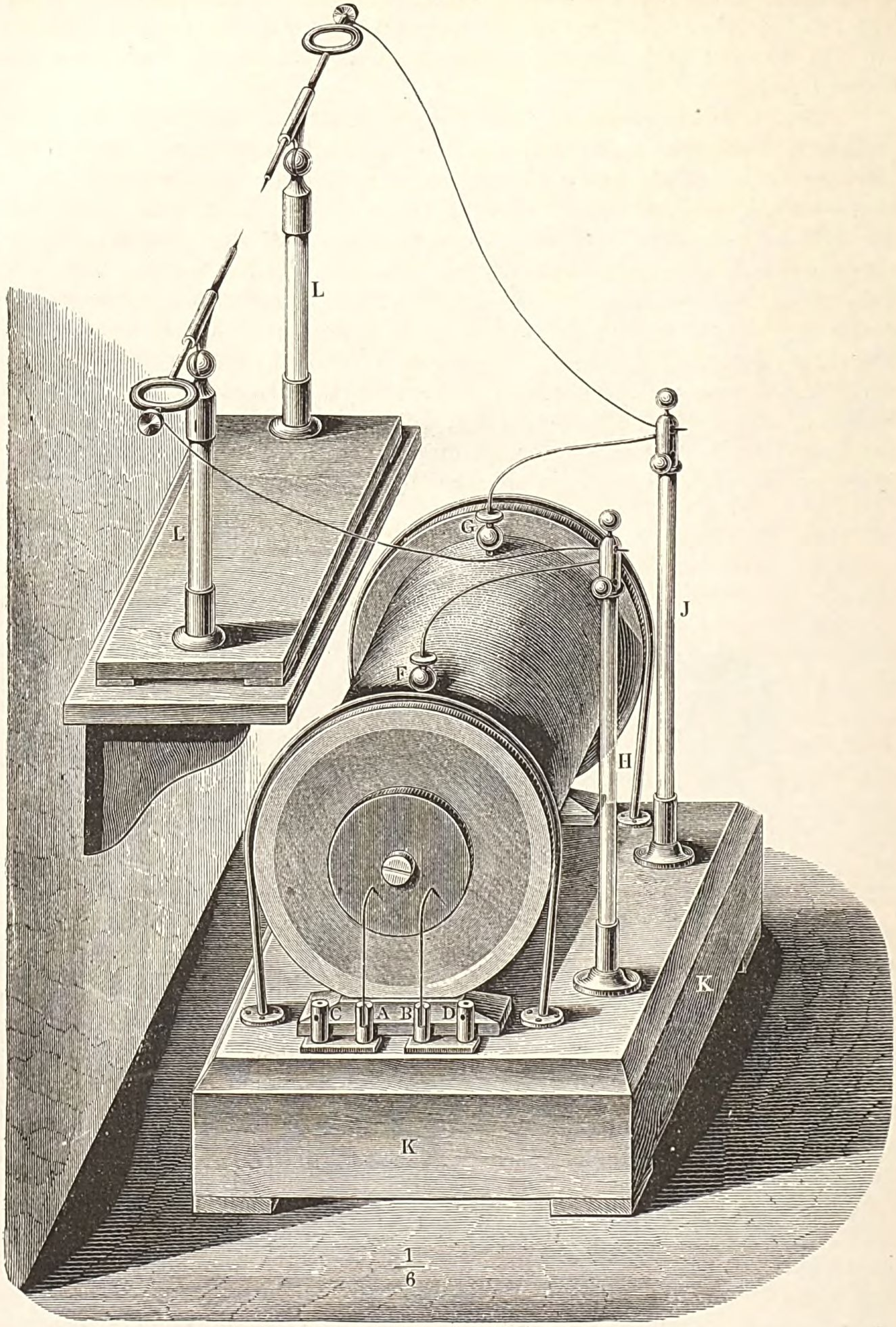
Fig. 182.



mit Eisenkern gezeichnet. Bei A stecken die Eisendrähte in der inneren, primären Spirale. Die äussere Spirale B ist die inducirte. Der inducirende Strom geht von P durch einen Commutator in die innere Spirale und durch N zurück. Der inducirte Strom fliesst durch p und p' in den Apparat, in welchem man ihn benutzen will.

Man hat diese Induktionsapparate, da sie zu sehr vielen Wirkungen benutzt werden, in sehr grossen Dimensionen ausgeführt. Der grösste von diesen Apparaten ist der Rühmkorff'sche Inductionsapparat, den Fig. 183 in $^1/_6$ der natürlichen Grösse gezeichnet zeigt. Er wird hauptsächlich, wie wir sehen werden, zur Erzeugung von elektrischen Funken benutzt. Die innere Spirale mit ihrem Eisenkern hat ihre Enddrähte in den Klemmschrauben A und B, welche je mit der Schraube C und D in Verbindung sind, in welche also die Drähte des inducirenden Stromes eingeklemmt werden, um durch die primäre Spirale geführt zu werden. Die inducirte Spirale, die aus einem ausserordentlich (bis zu 100,000 Meter) langen und dünnen, wohl isolirten Draht besteht, hat ihre Enden bei F und G, von denen aus Drähte an die Metallstücke auf den Glassäulen H und J geführt

Fig. 183.

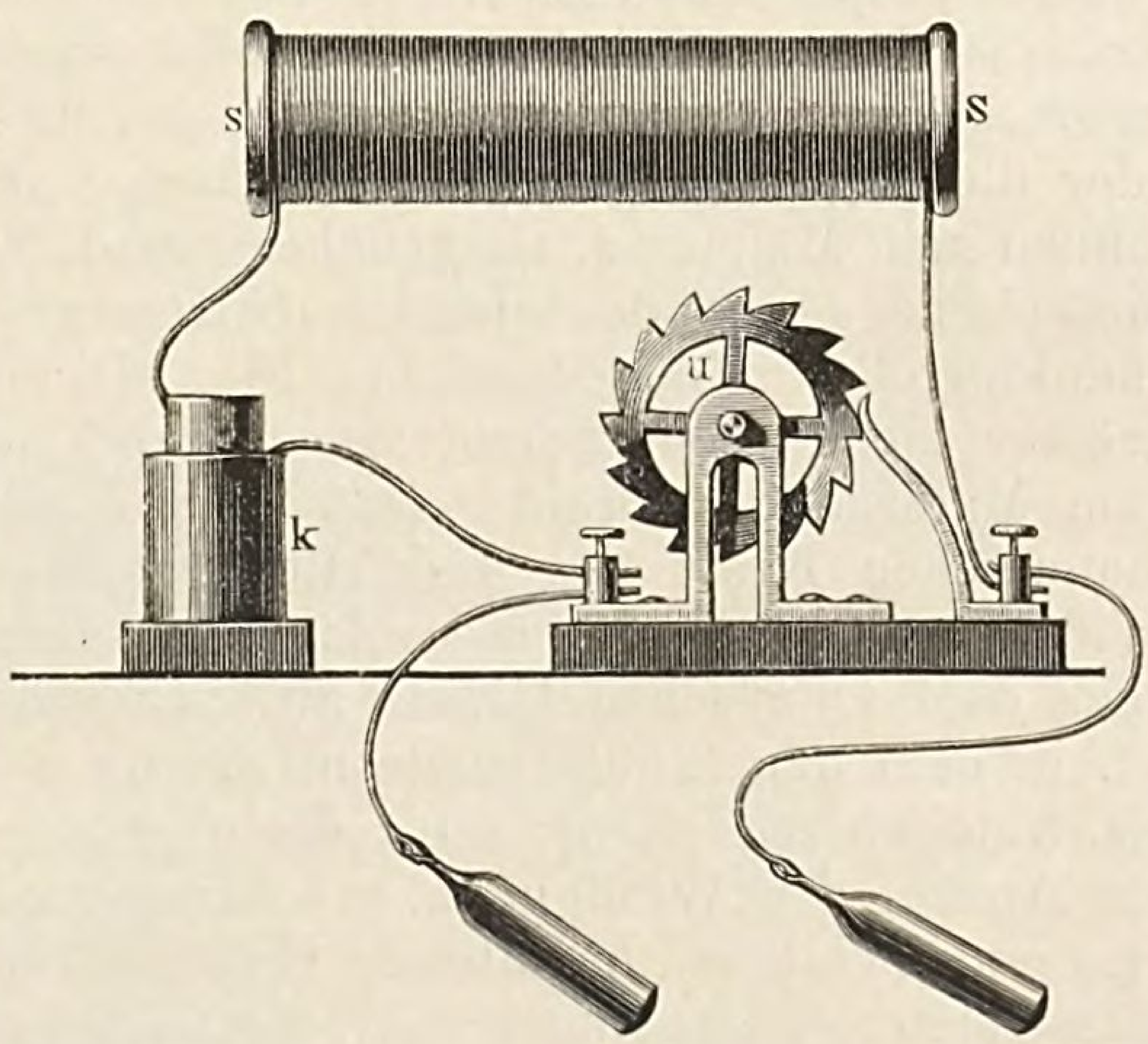


sind. Von den Glassäulen aus kann man dann den Strom durch jeden beliebigen Apparat senden. In der Figur ist er durch die beiden auf Glassäulen LL befindlichen Spitzen geschickt, zwischen denen, wie

wir sehen werden, Funken überspringen, wenn der Apparat in Thätigkeit ist. Zu dem Rühmkorff'schen Induktionsapparat gehört noch ein selbstthätiger Unterbrecher des primären Stromes, der aber in der Figur nicht gezeichnet ist.

Ganz ebenso, wie ein galvanischer Strom bei seinem Entstehen und Verschwinden in einem in seiner Nähe befindlichen inducirten Drahtkreis Induktionsströme erzeugt, ganz ebenso erzeugt er auch in seiner eigenen Bahn derartige Ströme. Am einfachsten lässt sich diese Wirkung, die ebenfalls von Faraday entdeckt wurde, zeigen, wenn man einen spiralförmig gewundenen Draht nimmt, wie den Draht SS in Fig. 184 und den Strom von einem galvanischen Element k durch ihn hindurchsendet. Es fliesst dann der Strom durch lauter parallel neben einander liegende Windungen. In dem Moment, wo der Strom unterbrochen wird, wird von jeder Windung in den andern ein Induktionsstrom erzeugt; ebenso wird im Moment, wo der Strom geschlossen wird, auch in allen Windungen ein Induktionsstrom erregt. Man nennt diesen Strom den Extrastrom. Beim Schliessen des Stromes fliesst der erzeugte Extrastrom in entgegengesetzter Richtung wie der Strom von k durch die Spirale. Der beim Schliessen entstehende Extrastrom schwächt also den von k durch die Spirale SS fliessenden Strom. Der Strom tritt dadurch nicht sofort in voller Stärke in SS auf, sondern kommt erst dann zu seiner vollen Intensität, wenn der Extrastrom verlaufen ist. Wird dagegen der Strom von k unterbrochen, der Stromkreis geöffnet, so fliesst der entstehende Extrastrom in derselben Richtung, wie der ursprüngliche Strom. Im Moment also, wo der ursprüngliche Strom schon unterbrochen ist, erscheint als Verlängerung desselben noch der Extrastrom. Man kann eine Reihe von Oeffnungen und Schliessungen leicht durch das in der Fig. 184 gezeichnete Rad u hervorbringen, an dessen Zähnen eine Contaktfeder schleift. Dreht man das Rad, so springt die Feder immer von einem Zahn zum anderen über und öffnet und schliesst dann jedesmal den Strom.

Fig. 184.



Es entsteht dann also jedesmal beim Oeffnen und beim Schliessen ein Extrastrom. Fasst man die beiden Handhaben in der Figur mit den Händen an, so geht, im Moment, wo der Strom unterbrochen wird, der Extrastrom durch den menschlichen Körper. Man erhält dann einen ziemlich heftigen Schlag, einen ganz momentanen Schlag,

während der Strom von Daniell'schen Elementen, wenn er durch den menschlichen Körper geht, nicht einen plötzlichen Schlag, sondern eine dauernde, etwas schmerzhafte Empfindung hervorbringt.

Immer, wenn Elektricität durch einen Drahtkreis fliesst, muss eine elektromotorische Kraft vorhanden sein, welche die Elektricität eben in Bewegung setzt. Wir müssen daher zuerst nach der elektromotorischen Kraft des inducirten Stromes fragen und untersuchen, wie diese abhängt 1) von der Stromstärke des inducirenden primären Stromes, 2) von der Anzahl der Windungen der inducirten Spirale und 3) von der relativen Bewegung des inducirenden und inducirten Stromes.

Es haben nun die experimentellen Untersuchungen gelehrt, dass die elektromotorische Kraft des inducirten Stromes um so grösser ist, je grösser die Intensität des ihn erregenden, primären Stromes ist. Und wenn der inducirte Strom nicht durch einen anderen Strom, sondern durch einen Magneten erregt wird, so hängt seine elektromotorische Kraft ab von der Stärke des inducirenden Magnets. Sie wird um so grösser, je stärker der Magnet ist, durch dessen Bewegung, resp. durch dessen Stärkung und Schwächung die Induktion erzeugt wird. Weiter aber hängt die elektromotorische Kraft des Induktionsstroms ab von der Anzahl der Windungen der inducirten Spirale. Je grösser die Anzahl der Windungen ist, desto grösser wird, dieser Anzahl proportional, auch die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes. Und endlich hängt die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes direkt davon ab, mit welcher Geschwindigkeit der Strom oder die Lage des inducirenden Stromes geändert wird. Je rascher der inducirende Magnet z. B. genähert wird, desto grösser ist die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes. Je rascher also z. B. die Induktorrollen in den Maschinen Fig. 176 und 177 gedreht werden, desto grösser ist die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes. Von dem Material des Drahtes ist sie ganz unabhängig. Von der elektromotorischen Kraft des Induktionsstromes und von dem gesammten Widerstand des Stromkreises hängt die Intensität des Induktionsstromes nach dem Ohm'schen Gesetz ab. Je grösser der äussere Widerstand ist, in dem der Induktionsstrom fliessen soll, desto grösser muss seine elektromotorische Kraft sein, desto grösser muss also caeteris paribus die Anzahl der Windungen auf der inducirten Spirale sein. Es zeigt eine eingehende mathematische Untersuchung, dass es stets am zweckmässigsten ist, den inneren Widerstand der Induktionsspirale möglichst gleich dem äusseren des Stromkreises zu machen.

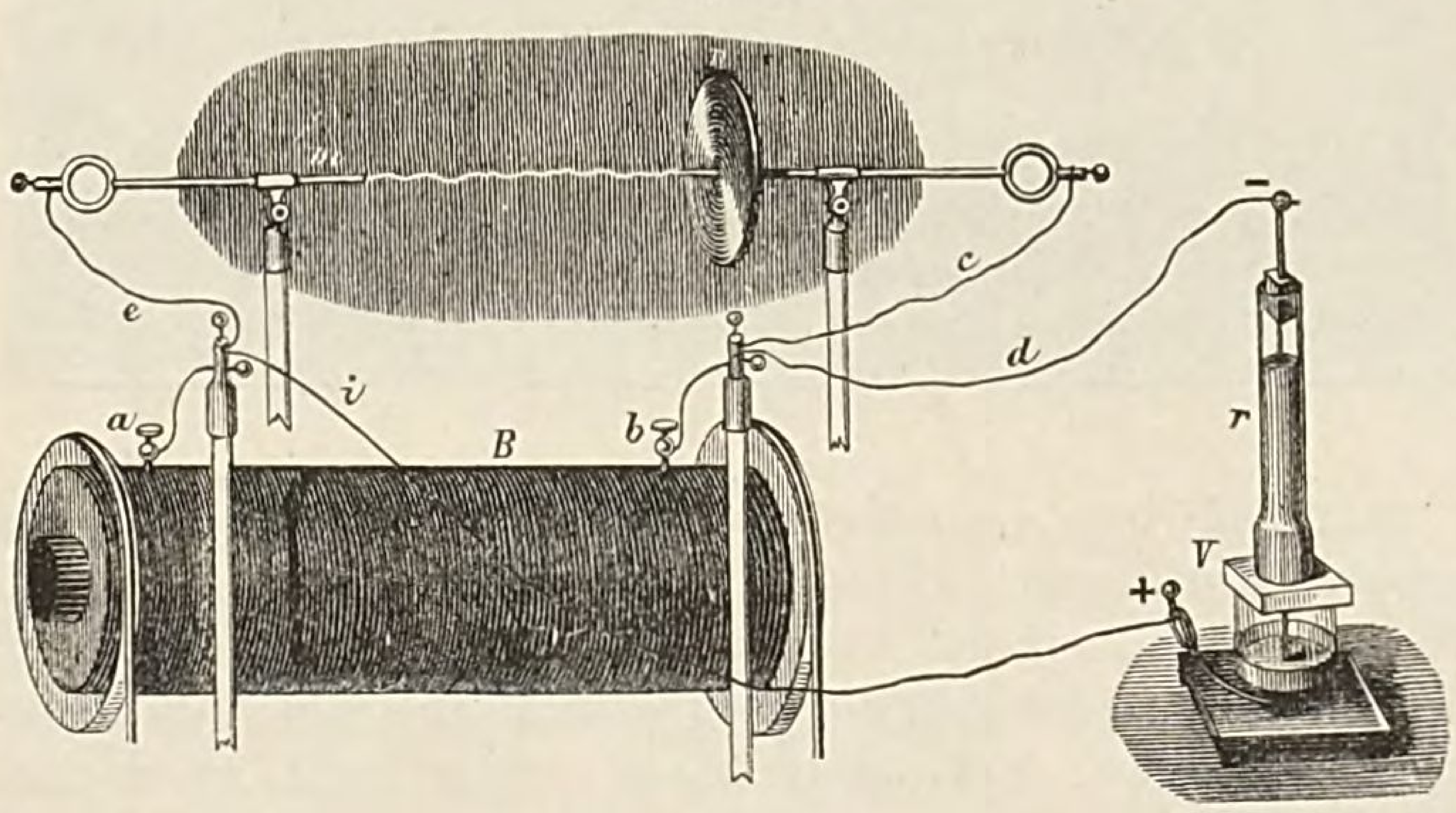
Durch Vergrösserung der Windungszahl der inducirten Spirale kann man also die elektromotorische Kraft der Induktionsströme so steigern, dass selbst sehr grosse äussere Widerstände überwunden werden können. Aus diesem Grunde besteht bei dem in Fig. 183 gezeichneten Rühmkorff'schen Apparat die inducirte Spirale aus einer ausserordentlich grossen Anzahl von Windungen eines sehr dünnen Kupferdrahts. Die elektromotrische Kraft des Induktionsstroms wird dadurch eine ganz ausserordentlich hohe. Wie wir aber in dem ersten Kapitel gesehen haben, muss Elektricität von hoher Spannung sehr sorgfältig

isolirt werden, damit sie nicht entweicht. Es ist deshalb bei dem Rühmkorff'schen und bei anderen Apparaten dieser Art immer nothwendig, die Drähte sorgfältig zu isoliren. Am besten geschieht das dadurch, dass man sie mit Seide, Wolle oder mit Kautschuk fest umhüllt.

Alle diese Erscheinungen, zu denen eine grosse Spannung der Elektricität gehört, lassen sich durch einen Induktionsapparat in vorzüglicher Weise ausführen. Wir haben insbesondere schon mehrfach gesehen, dass Elektricität von hoher Spannung im Stande ist, den Widerstand leicht zu überwinden, welchen eine Luftschicht, die sich zwischen den Enden der Leitungsdrähte befindet, dem Strom entgegenstellt. Die Elektricität aus einer Elektrisirmaschine geht leicht zwischen den Elektroden durch die Luft über. Es bildet sich der elektrische Funke, weil die Spannung der Elektricität, die von einer Elektrisirmaschine geliefert wird, sehr erheblich ist. Ebenso kann man durch Verbinden einer grossen Anzahl von galvanischen Elementen hinter einander die elektromotorische Kraft, d. h. die Spannung der Elektricität ausserordentlich gross machen, so dass die Elektricität, wie wir beim Davy'schen Flammenbogen gesehen haben, im Stande ist, heisse Luftschichten von einiger Dicke zu durchbrechen. Hier bei unseren Induktionsapparaten haben wir ebenfalls Elektricität von ausserordentlich hoher Spannung und wir können daher durch solche Induktionselektricität auch die Erscheinungen des elektrischen Funkens erhalten, wie mit der Elektrisirmaschine. Wir werden auch mit einem Induktionsapparat Leydener Flaschen laden können, ganz wie mit einer Elektrisirmaschine.

Eine Einrichtung zu diesen Versuchen ist in Fig. 185 abgebildet. Wir sehen darin die Induktionsrolle B, welche innen die inducirende

Fig. 185.

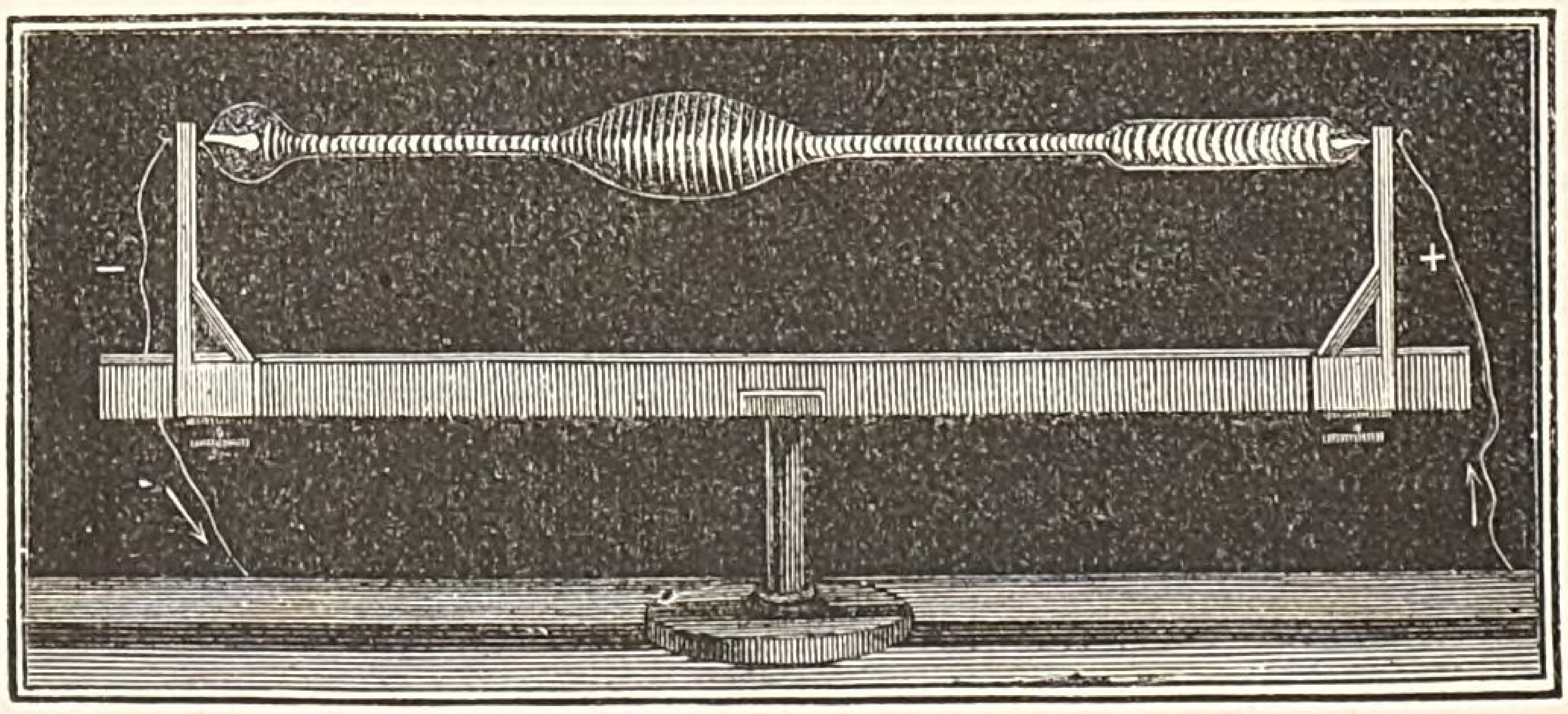


Spirale und einen Eisenkern enthält. Die Elemente, welche den Strom in die innere Spirale senden, und ebenso der Apparat, welcher diesen Strom fortwährend öffnet und schliesst, sind in der Figur weggelassen. Die Enden der Induktionsspirale a und b sind mit den auf Glasfüssen sitzenden Klemmen und durch diese mit den Enden zweier verschiebbarer Metallstäbe verbunden, von denen der eine in einer Spitze m, der

andere in einer Scheibe n endet. Sowie der Apparat im Gang ist, kommt inducirte Elektricität von ausserordentlich hoher Spannung an die Spitze m und die Scheibe n und durchbricht die Luftschicht, welche zwischen ihnen ist, in einem glänzenden, klatschenden Funken. Nicht blos die Luft, sondern auch andere isolirende Körper, insbesondere Glas kann man durch diese inducirte Elektricität von hoher Spannung durchbrechen. Für einen solchen Versuch ist in der Figur zugleich noch ein kleiner Apparat angebracht, in welchem sich eine Glasplatte V zwischen zwei Metallspitzen befindet, die mit den Enden der Induktionsspirale durch die Drähte i und d verbunden sind. Sobald der Induktionsapparat zu funktioniren anfängt, wird die Glasplatte durch den elektrischen Funken durchbohrt.

Eine ganz eigenthümliche und noch nicht vollständig erklärte Erscheinung lässt sich mit den Induktionsapparaten beobachten. Wenn man nämlich die Induktionsströme durch Apparate gehen lässt, aus welchen die Luft fast vollständig ausgepumpt ist, so sieht man nicht den glänzenden überspringenden Funken, sondern vielmehr ein mildes, anscheinend continuirliches farbiges Licht, welches sich durch den luftverdünnten Raum von dem einen Ende des Drahtes, von der einen Elektrode, zur anderen ausbreitet. Es werden von Geissler Röhren verfertigt, in welchen sehr verdünnte Luft enthalten ist und welche an ihren Enden eingeschmolzene Platinspitzen haben, mit denen man alle diese Erscheinungen leicht hervorbringen kann. Fig. 186 zeigt eine solche

Fig. 186.



Geissler'sche Röhre, zu deren Enden die Drähte von einem Induktionsapparat hinführen. Die ganze Röhre wird, wenn die Induktionsströme fliessen, von einem überaus angenehmen Lichte erfüllt, in welchem man mit blossem Auge eine grosse Reihe von Schichtungen, von dunkleren Stellen, erkennen kann. Statt mit verdünnter Luft werden die Röhren auch mit anderen Gasen in grosser Verdünnung erfüllt. Die Erscheinungen sind dann immer dieselben, nur die Farbe des Lichtes ist eine andere. Es haben diese Erscheinungen noch keine genügende Erklärung gefunden. Da sie sich jedoch mit geringer Mühe hervorbringen lassen und einen wundervollen Anblick gewähren, so werden sie sehr häufig, um schöne Lichteffekte zu erzeugen, angewendet.

Hiermit sind die Grunderscheinungen, welche die Elektricität zeigt, in ihren Hauptzügen angeführt. Es hat sich ergeben, dass sich die Elektricität fast unmittelbar, fast ohne besondere Hülfsmittel in alle anderen Erscheinungsformen der Naturkräfte umwandeln lässt, eine Eigenschaft, welche die Elektricität allen anderen Naturkräften voraus hat. Und zu dieser Eigenschaft kommen noch die beiden grossen Vorzüge hinzu, dass sich die Elektricität mit ausserordentlicher Geschwindigkeit fortpflanzt, und dass sie immer auf vorgeschriebenen Bahnen, auf den Leitungsdrähten, bleibt. So kann man die Elektricität in einem Moment hinleiten, wohin man will, und kann ihre Wirkungen hervorbringen, wohin man will, ganz unabhängig von dem Ort, wo man sie erzeugt hat. Die Elektricität überwindet gewissermassen Raum und Zeit. Keine andere Naturkraft hat diese brauchbaren Eigenschaften, und daher ist keine andere Naturkraft, selbst die Wärme nicht, in so eminentem Masse anwendbar, wie die Elektricität.

9. Kapitel.

Das absolute Masssystem.

Auf zwei Wegen dringt die Physik immer weiter in die Geheimnisse der Natur ein, auf doppelte Weise wird die Pionierarbeit betrieben, welche als zu erreichendes Ziel die Erkenntniss des Mechanismus der Welt hat. Der eine Weg ist die qualitative Erforschung neuer Erscheinungen, neuer bisher verborgener Kräfte oder neuer Wirkungen vorhandener Kräfte, der andere ist die quantitative, messende Feststellung ihrer Gesetze, die zahlen- und formelmässige Untersuchung der Abhängigkeit der verschiedenen physikalischen Grössen von einander. Die Entdeckung der Induktionserscheinungen durch Faraday z. B. war der erste Schritt zu der Erweiterung unserer Kenntnisse auf diesem Gebiet; die gesetzmässige Feststellung der Abhängigkeit des inducirten Stromes von Stärke, Richtung, Form und relativer Geschwindigkeit des inducirenden war der zweite, nicht minder wichtige und folgenreiche Schritt. Die Messung einer jeden physikalischen Grösse kann zuerst nach einem ganz beliebigen Mass geschehen, sobald dieses Mass nur ein sicher definirtes ist. Wir können Stromstärken nach Kubikmillimetern Knallgas messen oder nach Grammen Kupfer, wir können elektromotorische Kräfte nach Daniells messen oder nach Ausschlägen der Elektrometernadel u. s. w. Die neuere Naturforschung aber hat mit immer grösserer Schärfe und Deutlichkeit den Zusammenhang eruirt, der zwischen den physikalischen Erscheinungen verschiedener Art herrscht, sie hat in immer weiterem Umfang die qualitative und quantitative Umwandlungsfähigkeit der verschiedenen Formen der Energie, der mechanischen, thermischen, elektrischen, chemischen Energie, in einander gezeigt. Dieser Zusammenhang der verschiedenen physikalischen Grössen wies nun auf die Möglichkeit und Nothwendigkeit hin, auch zu ihrer Messung Masse anzuwenden, welche nicht mehr willkürlich sind, sondern mit einander in Beziehung stehen. Es ergab sich die Möglichkeit, alle physikalischen Grössen in Einheiten auszudrücken, welche von einigen Grundeinheiten in bestimmter Weise abgeleitet sind. Es waren Gauss und Wilhelm Weber, welche zuerst ein solches System von Einheiten aufstellten und durchführten, und dieses System nennt man das absolute Masssystem.

Die Messung aller physikalischen Grössen, aus welchem Gebiet sie auch entnommen seien, führt zurück auf Messung von Längen, Zeiten und Massen. Dies sind die einzigen Operationen, welche in verschiedener Form bei jeder praktischen Messung allein vorkommen. Es werden sich also auch die Zahlenwerthe sämmtlicher physikalischen Grössen in eindeutiger, unveränderlicher, bestimmter Weise ergeben, falls man nur für diese drei Grössen bestimmte Einheiten festsetzt. Diese Erwägung führte dazu, die Einheiten der Länge, Masse und Zeit als Grundeinheiten für das absolute Masssystem zu verwenden, obwohl man ebenso folgerichtig auch andere Grundeinheiten hätte wählen können, ja obwohl ein tieferes Eingehen zeigt, dass man mit zwei, ja sogar mit einer Grundeinheit ausreichen könnte. Welche Einheiten man für Länge, Zeit und Masse wählt, ist vollkommen gleichgültig. In wissenschaftlichen Messungen wird aber als Einheit der Länge das Centimeter, als Einheit der Zeit die Sekunde, als Einheit der Masse das Gramm genommen. Das Centimeter ist definirt als der hundertste Theil der Länge eines in Paris im Archiv aufbewahrten Stabes. Das Gramm ist definirt als der tausendste Theil der Masse eines Stückes Platin, welches in Paris als „*Kilogramme des archives*“ aufbewahrt wird. Die Sekunde als $\frac{1}{86\,400}$ des mittleren Sonnentages.

Das absolute System, bei welchem Centimeter, Gramm und Sekunde als Grundeinheiten gewählt sind, nennt man das C.G.S.-System.

Für praktische elektrische Zwecke nimmt man, wie wir weiter sehen werden, nicht diese Einheiten als Grundlage, sondern als Längeneinheit 1 Million Meter, als Zeiteinheit die Sekunde, als Masseneinheit den hunderttausendmillionsten Theil eines Grammes. Da 1 Million Meter $= 10^7$ Meter, $\frac{1}{100\,000\,000\,000}$ Gramm $= \frac{1}{10^{11}}$ Gramm ist, so schlägt Clausius vor, dieses System das „Hebdomometer-Undecimogramm-Sekunden-System“ zu nennen, wofür wir im Folgenden H.U.S.-System schreiben werden. Wir wollen bei den folgenden Erörterungen annehmen, dass irgend eine beliebige Einheit für die Länge angenommen sei, und wollen diese mit L bezeichnen, ebenso wollen wir eine beliebige Einheit für die Zeit annehmen und mit T bezeichnen und eine beliebige Einheit für die Masse entsprechend mit M bezeichnen. Im C.G.S.-System ist dann L = 1 Centimeter, T = 1 Sekunde, M = 1 Gramm. Im H.U.S.-System ist L = 10^7 Meter, T = 1 Sekunde, M = $\frac{1}{10^{11}}$ Gramm.

Von den drei Grundeinheiten L, M, T lassen sich nun für alle physikalischen Grössen Einheiten ableiten, die man deswegen abgeleitete Einheiten nennt. Wir beginnen mit einigen mathematischen und mechanischen Grössen.

1) Fläche. Als Mass für eine Fläche gilt ein Quadrat von beliebiger Seitenlänge.

Um bei unseren Einheiten zu bleiben, nehmen wir als Seitenlänge die Längeneinheit und haben also als absolute Einheit der Fläche

das Quadrat der Längeneinheit. Bezeichnen wir die absolute Flächeneinheit mit F, so ist also

$$F = L^2.$$

F ist also eine abgeleitete Einheit. Um anzugeben, wie eine abgeleitete Einheit mit den Grundeinheiten zusammenhängt, bedient man sich des Wortes Dimension, und sagt z. B. die Flächeneinheit ist von der Dimension L^2.

2) Volumen. Als Mass für ein Volumen gilt ein Würfel von beliebiger Seitenlänge. Die absolute Einheit des Volumens, V, ist also der Würfel von der Seitenlänge L.

Es ist $V = L^3$.

Die Volumeneinheit hat die Dimension L^3.

Im C.G.S.-System z. B. ist die Volumeneinheit 1 Kubikcentimeter, in dem oben erwähnten H.U.S.-System, wo die Längeneinheit 10^9 Centimeter ist, ist sie gleich 10^{27} Kubikcentimeter. Ist z. B. l die Längeneinheit im C.G.S.-System, λ die in dem H.U.S.-System, so ist ein Volumen von 3 Kubikmeter auszudrücken durch die Zahl 3000 (Benennung l^3), oder durch die Zahl $\frac{3000}{10^{27}}$ (Benennung λ^3). Damit ist gezeigt, wie man von einem System absoluter Einheiten (l, m, t) zu einem andern (λ, μ, τ) einfach übergehen kann, wenn man nur die Dimensionen der Grössen kennt.

3) Geschwindigkeit. Als Geschwindigkeit c eines sich gleichförmig bewegenden Körpers definirt man das Verhältniss des von ihm zurückgelegten Weges l zu der Zeit t, welche er zur Zurücklegung braucht.

$$c = \frac{l}{t}.$$

Als absolute Einheit der Geschwindigkeit C nehmen wir also diejenige an, bei welcher die Längeneinheit L in der Zeiteinheit T durchlaufen wird. Die Dimension der Geschwindigkeit ist also

$$C = \frac{L}{T}.$$

4) Beschleunigung. Unter der Beschleunigung b eines Körpers versteht man das Verhältniss seiner Geschwindigkeitzunahme c zu der Zeit t, in welcher er diese Zunahme erlangt,

$$b = \frac{c}{t}.$$

Die absolute Einheit der Beschleunigung B ist also diejenige, bei der die Geschwindigkeit eines Körpers in der Zeiteinheit T sich um die Geschwindigkeitseinheit C erhöht.

$$B = \frac{C}{T} = \frac{L}{T^2}$$

Die Dimension der Beschleunigung ist also $\frac{L}{T^2}$.

5) Kraft. Unter der Kraft k, welche auf eine Masse m wirkt, versteht man nach der Definition der Mechanik das Produkt aus

dieser Masse und der Beschleunigung, welche sie durch die Kraft erhält. Es ist $k = m\,b$.

Die Einheit der Kraft K ist also diejenige, welche der Einheit der Masse die Beschleunigungseinheit ertheilt:

$$K = M \cdot B = \frac{M\,L}{T^2}$$

Die Dimension der Kraft ist also $\frac{M\,L}{T^2}$.

Unsere Gewichte sind Kräfte, sie geben uns die Kraft an, mit welcher die Erdschwere auf die ihnen gleichbenannten Massen wirkt. Das Gewicht, die Kraft, eines Kilogramms ist gleich der Masse eines Kilogramms multiplicirt mit der Beschleunigung, welche die Erdschwere dieser Masse ertheilen würde, wenn sie frei beweglich wäre. Diese Beschleunigung ist bekanntlich durchschnittlich $9{,}81 \frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}}$. Im C.G.S.-System hat die Masse eines Kilogramms 1000 Masseneinheiten und die angeführte Beschleunigung 981 Beschleunigungseinheiten, so dass die Kraft eines Kilogramms 981 000 absolute Krafteinheiten im C.G.S.-System enthält.

In dem mehrfach erwähnten H.U.S.-System der Elektrotechnik hat ein Kilogramm 10^{14} absolute Masseneinheiten, die Erdbeschleunigung ist $= \frac{981}{10^9}$ Beschleunigungseinheiten, folglich ist das Gewicht eines Kilogramms $= 981 \cdot 10^5$ absoluten Krafteinheiten in diesem H.U.S.-System.

6) Arbeit. Wenn ein Körper sich unter der Wirkung einer Kraft bewegt, so leistet die Kraft eine Arbeit a, deren Grösse gleich ist dem Produkt aus der Kraft k und der Wegstrecke l, um welche sich der Körper in Richtung der Kraft fortbewegt hat. Es ist also $a = k\,l$.

Als Einheit der Arbeit A nehmen wir also diejenige, bei welcher die Krafteinheit ihren Angriffspunkt um die Längeneinheit bewegt. Es ist also

$$A = K\,L = \frac{M\,L^2}{T^2}.$$

Wenn z. B. ein Kilogramm um einen Meter gehoben wird, so ist die dazu nöthige Arbeit $= 981\,000 \times 100 = 98\,100\,000$ absoluten Arbeitseinheiten im C.G.S.-System oder $= 981 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{10^7} = \frac{981}{10^2}$ im H.U.S.-System.

Ein Kilogrammeter hat also 98 100 000 absolute C.G.S.-Arbeitseinheiten.

Die Arbeit ist nur von dem ganzen zurückgelegten Wege abhängig, durchaus nicht von der grösseren oder geringeren Zeit, in welcher dieser Weg zurückgelegt wird.

7) Effekt einer Kraft. Wenn eine Kraft eine Arbeit leistet,

so nennt man das Verhältniss der geleisteten Arbeit a zu der Zeit, in welcher sie geleistet wurde, den Effekt n der Kraft.

$$n = \frac{a}{t} \cdot$$

Es ist also die absolute Einheit des Effekts N diejenige, bei welcher die Einheit der Arbeit A in der Einheit der Zeit T geleistet wird:

$$N = \frac{A}{T} = \frac{M\,L^2}{T^3} \cdot$$

In der Technik rechnet man den Effekt nach Pferdekräften und versteht unter einer Pferdekraft denjenigen Effekt, bei welchem in je 1 Sekunde eine Arbeit von 75 Kilogrammetern geleistet wird. Eine Pferdekraft ist also in absoluten Effektseinheiten $= 98\,100\,000 \times 75 = 736\ 10^7$.

In dieser Weise haben wir für einige der wichtigsten mechanischen Grössen aus ihrer blossen Definition absolute Einheiten entwickelt und wir können nun dazu übergehen, dasselbe für die elektrischen und magnetischen Grössen zu thun.

Wir beginnen mit der Einheit des

8) Magnetismus. Zwei magnetische Theilchen μ und μ' ziehen sich mit einer Kraft k an, die gleich ist ihrem Produkt $\mu\,\mu'$ dividirt durch das Quadrat ihrer Entfernung r.

$$k = \frac{\mu\,\mu'}{r^2} \cdot$$

Da wir die Einheit der Kraft bereits haben und die der Entfernung auch, so werden wir daraus die Einheit der Magnetismusmenge bestimmen können.

Unter der Einheit des Magnetismus verstehen wir diejenige Menge Magnetismus μ, welche auf eine gleiche, in der Entfernung 1 die Kraft 1 ausübt. Es ist dann also

$$K = \frac{\mu^2}{L^2}$$

$$\text{also } \mu = L\,K^{1/2} = \frac{M^{1/2}\,L^{3/2}}{T} \cdot$$

Wir stossen hier zum ersten Male auf gebrochene Potenzen der Grundeinheiten. Die Dimensionen haben dadurch nicht mehr eine einfache physikalische Bedeutung, sondern sie sind jetzt nur mathematische Symbole.

So wie wir hier von einem durch die Erfahrung bewiesenen Anziehungsgesetz ausgegangen sind, um daraus eine Definition und Einheit der Magnetismusmenge abzuleiten, so können und müssen wir auch bei den elektrischen Grössen von bestimmten Gesetzen ausgehen, um aus diesen Definition und Einheiten für sie zu finden. Nun herrscht aber in der Elektricitätslehre noch ein unerklärter Dualismus, der erst dann weichen wird, wenn wir eine einheitliche Theorie der elektrischen Erscheinungen haben werden. Es üben nämlich zwei elektrische Theilchen nicht dieselbe Kraft auf einander aus, wenn sie bewegt sind,

als wenn sie in Ruhe sind, und aus dieser Verschiedenheit der Wirkungen resultirt auch ein anderes System von elektrischen Einheiten, je nachdem man von Wirkungen der bewegten Elektricität ausgeht, oder von Wirkungen der ruhenden. In beiden Fällen kann man ein in sich geschlossenes, einwurffreies System von elektrischen Einheiten bilden, aber die beiden Systeme widersprechen einander. Da man noch nicht sagen kann, welches von ihnen das naturgemässe und richtige ist, so behält man vorläufig beide Systeme neben einander in Kraft und nennt dasjenige, welches von den Wirkungen bewegter Elektricität ausgeht, das elektromagnetische Masssystem, während das andere, das auf Wirkungen ruhender Elektricität basirt, das elektrostatische Masssystem heisst. Obwohl das letztere System sich zuerst darbietet, da die ruhende Elektricität früher bekannt war und zuerst studirt wird, so ist doch das elektromagnetische Masssystem das ungleich wichtigere, da die Wirkungen und Anwendungen bewegter Elektricität weit vielseitiger sind. In der Technik ist ganz allein ein auf den elektromagnetischen Wirkungen beruhendes System eingeführt und wir werden daher auch dieses zuerst entwickeln.

Das elektromagnetische Masssystem.

1) Stromstärke. Wir gehen aus von der Kraft, welche ein Strom auf einen Magneten ausübt. Wir haben das Gesetz derselben auf S. 116 angeführt. Danach übt ein Stromelement von der Länge l und der Stromstärke i auf einen in der Entfernung r befindlichen Magnetpol mit der Magnetismusmenge μ eine Kraft k aus. Die Grösse derselben ist:

$$k = \frac{l\, i\, \mu}{r^2}.$$

Da wir die Einheiten für Länge, Kraft und Magnetismusmenge schon haben, so entnehmen wir hieraus die Definition für die Einheit der Stromintensität.

Die Einheit der Stärke eines Stromes J ist also diejenige, welche, wenn sie in einem Leiterelement von der Längeneinheit L herrscht, auf die Einheit des Magnetismus μ in der Entfernung L die Krafteinheit K ausübt, also

$$\mathrm{K} = \frac{\mathrm{L\, J}\, \mu}{\mathrm{L}^2}$$

also $$\mathrm{J} = \frac{\mathrm{K\, L}}{\mu} = \frac{\mathrm{K\, L}}{\mathrm{K}^{1/2}\,\mathrm{L}} = \mathrm{K}^{1/2} = \frac{\mathrm{L}^{1/2}\,\mathrm{M}^{1/2}}{\mathrm{T}}.$$

Im C.G.S.-System haben wir für M L T einzusetzen 1 Gramm, 1 Centimeter, 1 Sekunde.

Im H.U.S.-System ist

$$\mathrm{M} = \frac{1}{10^{11}}\ \text{Gramm},$$

$$L = 10^9 \text{ Centimeter,}$$
$$T = 1 \text{ Sekunde,}$$

also ist die Einheit der Stromstärke im praktischen (H.U.S.-) System

$$J_p = \frac{1}{10} J_w$$

wo J_w die elektromagnetische Einheit der Stromstärke im C.G.S.-System bedeutet.

Man nennt die Einheit J_p 1 Ampère. 1 Ampère ist also $= \frac{1}{10}$ Einheit im C.G.S.-System.

2) Elektricitätsmenge. Unter der Stromstärke i verstanden wir immer diejenige Menge Elektricität e, welche in der Zeit t durch den Querschnitt eines Leiters fliesst; es war also $i = \frac{e}{t}$ oder $e = i\,t$.

Danach werden wir diejenige Elektricitätsmenge die Einheit e nennen, welche, wenn sie in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt fliesst, die Intensitätseinheit J erzeugt.

$$e = J\,T$$

Die Dimensionen von e sind also $L^{1/2}\,M^{1/2}$.

Im H.U.S.-System ist $e_p = \frac{10^{9/2}}{10^{11/2}}\, e_w = \frac{1}{10}\, e_w$.

Man nennt e_p 1 Coulomb. Es ist also 1 Coulomb $= \frac{1}{10}$ Einheit des C.G.S.-Systems.

3) Elektromotorische Kraft. Ein Strom von der elektromotorischen Kraft E und der Stromstärke i hat einen Effekt n, welcher gleich ist $E\,i$, also $E\,i = n$, $E = \frac{n}{i}$.

Unter der Einheit der elektromotorischen Kraft E verstehen wir also diejenige, welche, wenn sie einen Strom von der Einheit der Stärke J durch den Stromkreis treibt, die Einheit des Effekts N erzeugt. Es ist also $E\,J = N$

$$E = \frac{N}{J} = \frac{M \cdot L^2 \cdot T}{T^3 \cdot L^{1/2} \cdot M^{1/2}} = \frac{M^{1/2}\,L^{3/2}}{T^2}.$$

Im H.U.S.-System ist $E_p = \frac{1}{10^{11/2}} \cdot 10^{27/2}\, E_w = 10^8\, E_w$.

Man nennt E_p 1 Volt. Es ist also 1 Volt $= 10^8$ Einheiten des C.G.S.-Systems.

4) Potential. Ein Leiter, der auf dem Potential φ ist und die Elektricitätsmenge e enthält, enthält, wie wir aus S. 33 wissen, eine Energie, welche gleich ist $\varphi\,e$; er kann eine Arbeit a leisten, welche gleich ist $\varphi\,e$. Es ist also $a = \varphi\,e$.

Als Einheit des Potentials V bezeichnen wir also dasjenige, welches, auf die Einheit der Elektricitätsmenge e wirkend, die Arbeitseinheit A hervorbringt. Es ist also $V\,e = A$

also $$V = \frac{A}{e} = \frac{M\,L^2}{T^2} \cdot \frac{1}{L^{1/2}\,M^{1/2}} = \frac{M^{1/2}\,L^{3/2}}{T^2}.$$

Das Potential hat also ganz dieselben Dimensionen, wie die elektromotorische Kraft, was wir an sich schon wissen, da ja die elektromotorische Kraft nichts anderes ist als die Differenz zweier Potentiale. Es ist also auch die praktische Einheit des Potentials 1 Volt.

5) Widerstand. Nach dem Ohm'schen Gesetz erzeugt die elektromotorische Kraft E in einem Leiter von dem Widerstand w die Stromstärke i, wo $i = \frac{E}{w}$ also $w = \frac{E}{i}$.

Die Einheit des Widerstandes W ist also derjenige Widerstand, in welchem die Einheit der elektromotorischen Kraft E die Einheit der Stromstärke J erzeugt.

$$W = \frac{E}{J} = \frac{M^{1/2}\,L^{3/2}}{T^2} \cdot \frac{T}{L^{1/2}\,M^{1/2}} = \frac{L}{T}.$$

Der Widerstand hat also die Dimension einer Geschwindigkeit.

Im H.U.S.-System ist $W_p = 10^9\ W_w$.

Man nennt W_p 1 Ohm. Es ist also 1 Ohm $= 10^9$ absoluten C.G.S.-Einheiten.

6) Capacität. Unter der Capacität $\varkappa$ eines Leiters verstanden wir das Verhältniss seiner Elektricitätsmenge e zu seinem Potential φ:

$$\varkappa = \frac{e}{\varphi}.$$

Die Einheit der Capacität c hat also derjenige Leiter, welcher bei der Einheit des Potentials V die Einheit der Elektricitätsmenge e enthält.

$$c = \frac{E}{V} = \frac{M^{1/2}\,L^{1/2}}{M^{1/2}\,L^{3/2}} \cdot T^2 = \frac{T^2}{L}.$$

Im H.U.S.-System ist $c_p = \frac{1}{10^9}\ c_w$.

Man nennt c_p 1 Farad. Es ist also 1 Farad $= \frac{1}{10^9}$ Einheiten des absoluten C.G.S.-Systems.

Das elektrostatische Masssystem.

Die Grundlage des elektrostatischen Masssystems bildet das Coulomb'sche Gesetz über die Einwirkung zweier Elektricitätsmengen auf einander. Wir bezeichnen die absoluten Einheiten im elektrostatischen Masssystem durch dieselben Buchstaben wie oben, aber mit einem angehängten Index s.

1) Elektricitätsmenge. Zwei Elektricitätsmengen e und e_1 in der Entfernung r von einander, üben nach dem Coulomb'schen Gesetz eine Kraft k auf einander aus, welche gleich ist

$$k = \frac{e\,e_1}{r^2}.$$

Als Einheit der Elektricitätsmenge e_s nehmen wir also diejenige,

welche auf eine gleiche, in der Entfernung der Längeneinheit L befindliche, die Krafteinheit K ausübt. Es ist also

$$K = \frac{e_s\, e_s}{L^2}$$

also
$$e_s = L\, K^{1/2} = \frac{M^{1/2}\, L^{3/2}}{T}.$$

2) Potential. Da das Produkt aus Potential und Elektricitätsmenge gleich einer Arbeit ist, so ist die Einheit des Potentials V_s diejenige, welche auf die Elektricitätseinheit e_s wirkend, die Arbeitseinheit A hervorbringt. $V_s\; e_s = A$.

$$V_s = \frac{A}{e_s} = \frac{M\, L^2\, T}{T^2\, M^{1/2}\, L^{3/2}} = \frac{M^{1/2}\, L^{1/2}}{T}.$$

Eben dieselben Dimensionen hat die elektromotorische Kraft E_s.

3) Intensität. Die Intensität i eines Stromes ist gleich dem Verhältniss der durch einen Querschnitt gehenden Elektricitätsmenge zu der Zeit, in welcher sie durchgeht.

Die Einheit der Stromintensität J_s ist also diejenige, bei welcher die Einheit der Elektricitätsmenge e_s in der Zeiteinheit T durch einen Querschnitt geht.

$$J_s = \frac{e_s}{T} = \frac{M^{1/2}\, L^{3/2}}{T^2}.$$

4) Widerstand. Die Einheit des Widerstands W_s ist nach dem Ohm'schen Gesetz diejenige, in welcher die Einheit der elektromotorischen Kraft E_s die Einheit der Stromstärke J_s erzeugt.

$$W_s = \frac{E_s}{J_s} = \frac{M^{1/2}\, L^{1/2}\, T^2}{T\, M^{1/2}\, L^{3/2}} = \frac{T}{L}$$

also das Reciproke einer Geschwindigkeit.

5) Capacität. Die Einheit der Capacität C_s ist das Verhältniss der Einheit der Elektricitätsmenge e_s zu der Einheit des Potentials V_s,

also
$$c_s = \frac{e_s}{V_s} = \frac{M^{1/2}\, L^{3/2}\, T}{T\, M^{1/2}\, L^{1/2}} = L.$$

Die Capacität hat also in diesem Masssystem die Dimension einer Länge.

Wie man bei der Betrachtung der Dimensionen sofort übersieht, widersprechen die beiden Systeme von Massen einander.

Ein Widerstand z. B. hat nach dem einen System die Dimension einer Geschwindigkeit, nach dem andern die des Reciproken einer Geschwindigkeit. Möglicherweise entsprechen beide Systeme nicht den wirklichen Verhältnissen, indem eine mechanische Auffassung der Elektricität zeigen kann, dass bei den beobachteten Erscheinungen Verhältnisse mitwirken, die wir noch nicht experimentell ermitteln konnten.

Verhältniss der elektrostatischen zu den elektromagnetischen Einheiten.

Wir haben noch zu untersuchen, in welchem Verhältniss die Dimensionen einer jeden Grösse in dem einen und dem andern Masssystem stehen. Zu dem Zweck bezeichnen wir die Einheiten des elektromagnetischen Masssystems durch ein angehängtes m, während die des elektrostatischen Systems wieder durch ein angehängtes s bezeichnet sein möge. Dann ist:

$$\frac{J_s}{J_m} = \frac{M^{1/2} L^{3/2} T}{T^2 M^{1/2} L^{1/2}} = \frac{L}{T}.$$

Da $\frac{L}{T}$ die Dimension einer Geschwindigkeit v ist, so ist also

$$\frac{J_m}{J_s} = v.$$

Ferner ist $$\frac{e_s}{e_m} = \frac{M^{1/2} L^{3/2} \cdot T}{M^{1/2} L^{1/2} \cdot T} = \frac{L}{T} = v$$

$$\frac{E}{E_m} = \frac{M^{1/2} L^{1/2} \cdot T^2}{T \cdot M^{1/2} L^{3/2}} = \frac{T}{L} = \frac{1}{v}$$

$$\frac{W_s}{W_m} = \frac{T \cdot T}{L \cdot L} = \frac{T^2}{L^2} = \frac{1}{v^2}$$

$$\frac{C_s}{C_m} = \frac{L \cdot L}{T^2} = \frac{L^2}{T^2} = v^2.$$

Also die Verhältnisse der Dimensionen der Einheiten sind alle gewisse Potenzen einer Geschwindigkeit. Eine jede Grösse also, die in dem einen System durch eine bestimmte Zahl angegeben wird, muss in dem andern durch eine andere Zahl angegeben werden, die v resp. v^2 mal grösser oder kleiner ist als im andern. Diese Geschwindigkeit v muss sich experimentell ermitteln lassen, wenn man ein und dieselbe Grösse z. B. eine Elektricitätsmenge, sowohl in elektrostatischen als in elektromagnetischen Einheiten bestimmt. Dies haben Weber und Kohlrausch in einer sehr berühmten Arbeit gethan und gefunden, dass diese Geschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit des Lichts ist, ein Resultat, welches die Vermuthung, dass die elektrischen Erscheinungen durch Eigenschaften des Lichtäthers zu erklären seien, in hohem Grade nahelegt. Es ist also die Grösse v ungefähr gleich 40 000 Meilen in der Sekunde oder gleich

$$30\,000\,000\,000 \frac{\text{Centimeter}}{\text{Sekunde}} = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{Centimeter}}{\text{Sekunde}}.$$

Danach sind z. B. die Dimensionen der elektromagnetischen Einheit der Elektricitätsmenge der v^{te} Theil von den Dimensionen der elektrostatischen Einheit der Elektricitätsmenge. Eine Menge Elektricität also, die im elektromagnetischen System durch eine bestimmte Zahl angegeben wird, muss im elektrostatischen System durch eine

v mal so grosse Zahl angegeben sein. So ist z. B. das Coulomb der 10. Theil der elektromagnetischen Einheit, folglich ist es gleich $\frac{3 \cdot 10^{10}}{10}$ $= 3 \cdot 10^9$ Einheiten der elektrostatischen Elektricitätseinheit. Daraus erklärt sich die Angabe auf S. 9. Um dies klar einzusehen, denken wir uns z. B. eine Reihe von Rechtecken, deren eines Paar Kanten bei allen gleich ist, z. B. 5 Centimeter, während die andern Paare Kanten verschieden sind, 3, 4, 5 Centimeter. Die Dimensionen der Fläche sind L^2, die der Kanten L, also die der Fläche L mal grösser als die der Kanten. Man kann dann abkürzend und ungenau von dem Rechteck von 3, 4, 5 Centimeter sprechen. Die Grösse des Rechtecks wird dann durch die Zahlen 3, 4, 5 etc. bestimmt; während, wenn man die Flächeneinheit zu Grunde legt, sie durch die Zahlen 15, 20, 25 etc. bestimmt wird. Die Dimensionen der Fläche sind also L mal grösser, als die der Linien, und deshalb muss die Grösse einer Fläche im Flächenmass durch eine L (5) mal grössere Zahl angegeben sein als im Linienmass.

Die praktischen absoluten Einheiten sind, wie wir gesehen haben, ganz consequent aus einander abgeleitet unter Zugrundelegung des H.U.S.-Systems. Es ist also z. B.

$$1 \text{ Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}}$$

$$1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}}$$

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ Ampère} \times 1 \text{ Sekunde.}$$

Nur beim Uebergang auf die Einheiten des C.G.S.-Systems treten gewisse Potenzen von 10 als Faktoren auf. So ist

$$1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Ampère} = 10^8 \cdot 10^{-1} \text{ Effektseinheiten (C.G.S.)}$$

Da 1 Effektseinheit (C.G.S.) $= \frac{1}{736 \cdot 10^7}$ Pferdekraft ist, so ist

$$1 \text{ Volt} \times 1 \text{ Ampère} = \frac{1}{736} \text{ H P.}$$

Experimentelle Bestimmung des Ampère und Ohm.

Es genügt natürlich für praktische Zwecke nicht, bestimmte Einheiten für die Grössen wissenschaftlich definirt zu haben, es müssen auch zum Gebrauch bestimmte Normaleinheiten vorhanden sein, die stets leicht reproducirbar sind und deren Verhältniss zu den absoluten Einheiten ein für allemal genau bestimmt ist.

Verhältnissmässig leicht ist die Bestimmung der absoluten C.G.S.-Einheit für die Stromstärke.

Wir wissen ja, dass die Kraft, mit welcher ein Stromelement von der Länge l auf einen Magnetpol μ in der Entfernung r wirkt, gleich ist

$$K = \frac{\mu \, i \, l}{r^2}.$$

Haben wir z. B. eine Tangentenbussole mit einem einfachen Ring und befindet sich der Pol μ im Mittelpunkt derselben, so können wir uns den Ring als aus lauter Stromelementen zusammengesetzt denken, deren Gesammtlänge gleich dem Umfang des Ringes ist. Ist also R der Radius des Ringes, so ist $2 \pi R$ seine gesammte Länge und zugleich ist auch R die Entfernung des Magnetpols von jedem Element. Die gesammte Kraft ist daher

$$K = \mu\, i \cdot \frac{2\pi}{R}.$$

Haben wir statt eines Poles eine kurze Magnetnadel von dem magnetischen Moment M und wird die Nadel um den Winkel α aus der Stromebene, die im magnetischen Meridian war, abgelenkt, so ist die Kraft

$$K = i \frac{2\pi}{R} M \cos \alpha$$

da ja nur der Theil $M \cos \alpha$ in die Stromebene fällt.

In dieser abgelenkten Lage aber wirkt die horizontale Componente des Erdmagnetismus T auf die Nadel, um sie in den Meridian zurückzuführen, mit einer Kraft, die gleich ist

$$K_1 = T M \sin \alpha.$$

Im Gleichgewicht der Nadel sind K und K_1 einander gleich und dann ist also

$$i \frac{2\pi}{R} M \cos \alpha = T M \sin \alpha$$

also

$$i = \frac{T R}{2\pi} \operatorname{tang} \alpha.$$

Die Stromstärke ist proportional der Tangente des Ablenkungswinkels. Kennt man R, den Radius des Ringes, in Centimetern und kennt man T, die Horizontalcomponente des Erdmagnetismus im C.G.S.-System, so kann man dadurch das angewendete i im elektromagnetischen Mass absolut bestimmen.

Um diese einmalige Bestimmung stets reproducirbar zu machen, muss man nur noch bestimmen, wie viel Knallgas dieser Strom in bestimmter Zeit erzeugt, oder wie viel Kupfer oder Silber er abscheidet. Auf diese Weise hat man die stets vergleichbare Angabe gefunden, dass die absolute Stromeinheit im C.G.S.-System in einer Sekunde 1,740 Kubikcentimeter Knallgas von normalem Druck und normaler Temperatur elektrolytisch abscheidet.

Da 1 Ampère der 10. Theil dieser absoluten C.G.S.-Stromeinheit ist, so entwickelt der Strom von 1 Ampère in der Sekunde 0,1740 Kubikcentimeter, wie auf S. 124 angegeben ist.

Ebenso wie man mit Hülfe der Horizontalcomponente des Erdmagnetismus die absolute Stromstärke bestimmen kann, kann man auch den absoluten Widerstand eines Leiters bestimmen. Man bedient sich dazu des durch den Erdmagnetismus erzeugten Induktionsstromes in einer Drahtrolle.

Denken wir uns eine Drahtrolle auf einen Rahmen aufgewunden, diese in den magnetischen Meridian gestellt und dann in t Sekunden um eine vertikale Axe gedreht, so dass sie senkrecht zu dem Meridian steht, so wird in dieser Rolle ein Induktionsstrom erzeugt, dessen

elektromotorische Kraft E gleich ist der Stärke der Horizontalcomponente des Erdmagnetismus T, multiplicirt mit der gesammten, von den Windungen der Rolle umschlossenen Fläche F, dividirt durch die Zeit t der Drehung.

$$E = \frac{T F}{t}.$$

Verbinden wir diese Drahtrolle mit einem Galvanometer, so wird durch diese momentan entstehende elektromotorische Kraft auch ein momentaner Strom entstehen, der auf die Nadel des Galvanometers einen Stoss ausübt. Aus der Grösse dieses Stosses und der Kenntniss der Dimensionen des Galvanometers kann man aber die Grösse der Stromstärke i in absolutem Masse berechnen, die durch die elektromotorische Kraft erzeugt ist. Der Quotient dieser beiden Grössen $\frac{E}{i}$ giebt nun sofort den Widerstand des gesammten Stromkreises im C.G.S.-System.

Nach dieser und anderen Methoden versuchte man die absolute Einheit des Widerstandes zu bestimmen. Die Messungen der einzelnen in Betracht kommenden Grössen sind aber sehr schwierig exakt auszuführen, so dass ganz übereinstimmende Messungen der Widerstandseinheit bisher noch nicht gelungen sind.

Die praktische absolute Widerstandseinheit, das Ohm, ist gleich 10^9 Widerstandseinheiten im C.G.S.-System.

Es wird in der allernächsten Zeit eine genaue Bestimmung des Ohms zu erwarten sein.

Man hat sich aber in der jüngsten Zeit international dahin geeinigt, dass für alle gewerblichen Zwecke das Ohm definirt ist nicht als das 10^9fache der absoluten Widerstandseinheit im C.G.S.-System, sondern als der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 Quadratmillimeter Querschnitt und 106 Centimeter Länge. Dieser so bestimmte Widerstand wird nur sehr wenig von dem wissenschaftlich definirten abweichen und durch seine Feststellung hat man alle Unzuträglichkeiten, die aus dem Mangel einer festen Einheit sich ergeben, gehoben.

II. Abschnitt.

Die Anwendungen der Elektricität.

II. Abschnitt.

Die Anwendungen der Elektricität.

1. Kapitel.

Die Dynamomaschinen.

Die grosse Leichtigkeit, mit der sich die Elektricität in fast alle anderen Formen der Naturerscheinungen umwandeln lässt, in Licht, in Wärme, in Magnetismus, in chemische Energie, in mechanische Bewegung, diese Leichtigkeit macht die Elektricität ganz ausserordentlich geeignet, um praktisch verwendet zu werden. Ein Lichtstrahl bleibt stets ein Lichtstrahl, er leuchtet und erwärmt, aber seine Energie lässt sich nicht (oder nur unvollkommen und schwierig) in andere Formen der Energie umwandeln. Ein elektrischer Strom dagegen braucht nur durch getrennte Kohlenspitzen gesendet zu werden, um Licht zu erzeugen, er braucht nur durch Drähte gesendet zu werden, um Wärme hervorzubringen; um einen Eisenstab spiralförmig herumgeführt, erzeugt er Magnetismus, in die Nähe eines anderen Stromes oder eines Magneten gebracht, bringt er diesen in Bewegung oder kommt selbst in Bewegung, durch eine zusammengesetzte Flüssigkeit gesendet, zerlegt er sie in ihre Bestandtheile. Diese leichte Umwandlungsfähigkeit der elektrischen Energie ist eines der Hauptmomente, durch welches die Elektricität sich einen immer weiteren Raum in der Technik erobert.

Elektrische Ströme zu erzeugen, ist auf verschiedene Weise möglich. Zwei Metalle in eine Flüssigkeit gebracht, und zu einem geschlossenen Kreis verbunden, geben einen elektrischen Strom. Es wird der elektrische Strom in solchen Elementen durch Umwandlung von chemischer Energie erzeugt. Zwei verschiedene Metalle in Berührung mit einander gebracht, erzeugen einen elektrischen Strom, wenn man die eine Berührungsstelle erwärmt oder abkühlt. Es wird der elektrische Strom hierbei, der Thermostrom, durch die Energie der Wärme erzeugt. Ein geschlossener Drahtkreis in die Nähe eines Magneten oder eines elektrischen Stromes gebracht und vor ihm in beliebiger Weise bewegt, enthält Ströme. Es werden diese Ströme,

die Induktionsströme, durch Bewegung, also durch Aufwand von Bewegungsenergie hervorgebracht. Bei den neueren technischen Anwendungen der Elektricität werden im Allgemeinen sehr starke Ströme angewendet. Schwache Ströme werden insbesondere in der Telegraphie und Telephonie benutzt, aber für elektrisches Licht, für Kraftübertragung u. s. w. sind sehr starke Ströme nothwendig. Zur Erzeugung starker Ströme fällt die Anwendung der Thermoelektricität von vornherein weg. Es ist bisher nicht möglich, durch Aufwendung von Wärme allein mit Hülfe der thermoelektrischen Säulen Ströme von grosser Kraft und Intensität zu erzeugen.

Aber auch die Anwendung von galvanischen Elementen ist zur Erzeugung von sehr starken Strömen eine sehr prekäre. Man kann wohl durch galvanische Elemente Ströme von jeder beliebigen Intensität und elektromotorischen Kraft erhalten, indem man nur die Zahl der benutzten Elemente vermehrt. Aber eben diese Vermehrung der Zahl der Elemente ist für praktische Zwecke ziemlich unmöglich.

Ein jedes Element erfordert eine sorgfältige Behandlung, öfteren Wechsel der Flüssigkeiten und Metalle. Eine grosse Anzahl von Elementen nimmt einen sehr grossen Raum ein. Ausserdem entwickeln die galvanischen Elemente zum Theil und grade die stärkeren, schädliche und unangenehme Dämpfe. Und endlich ist die Anwendung der Elemente eine sehr theure. In fast allen Elementen wird durch chemische Processe Zink in Säuren aufgelöst, der elektrische Strom wird also nur erhalten durch Verbrennung von Zink, ein sehr theures Brennmaterial. Aus allen diesen Gründen zusammen, denen sich noch einige anreihen lassen, ist die Anwendung von galvanischen Elementen zur Erzeugung von starken elektrischen Strömen für technische Zwecke ziemlich unmöglich und alle Versuche, die mit solchen Batterieen für technische Zwecke angestellt wurden, scheiterten aus dem einen oder anderen der angegebenen Gründe.

Ein viel aussichtsvolleres und viel mehr versprechendes Mittel dagegen zur einfachen Erzeugung von starken elektrischen Strömen bot die Induktion, und insbesondere die Induktion durch Magnete, die sogenannte Magnetoinduktion.

Von einem Magneten, insbesondere von seinen Polen, gehen Kräfte aus, welche in gewisser Weise Wirkungen ausüben. Diese Kräfte machen, um diese Wirkungen alle hier kurz zusammen zu fassen, weiches, unmagnetisches Eisen, welches in der Nähe des Magneten sich befindet, selbst magnetisch, sie induciren Magnetismus in dem Eisen. Diese Kräfte bewirken ferner, dass andere Magnete, welche in der Nähe des ersten sich befinden, und welche beweglich sind, sich bewegen und zwar, wenn sie nur sich drehen können, dass sie sich in eine bestimmte Lage drehen, und wenn sie ganz frei beweglich sind, dass sie an den festen Magneten herangezogen werden, oder von ihm abgestossen werden, je nachdem ungleichnamige oder gleichnamige Pole einander am nächsten sind.

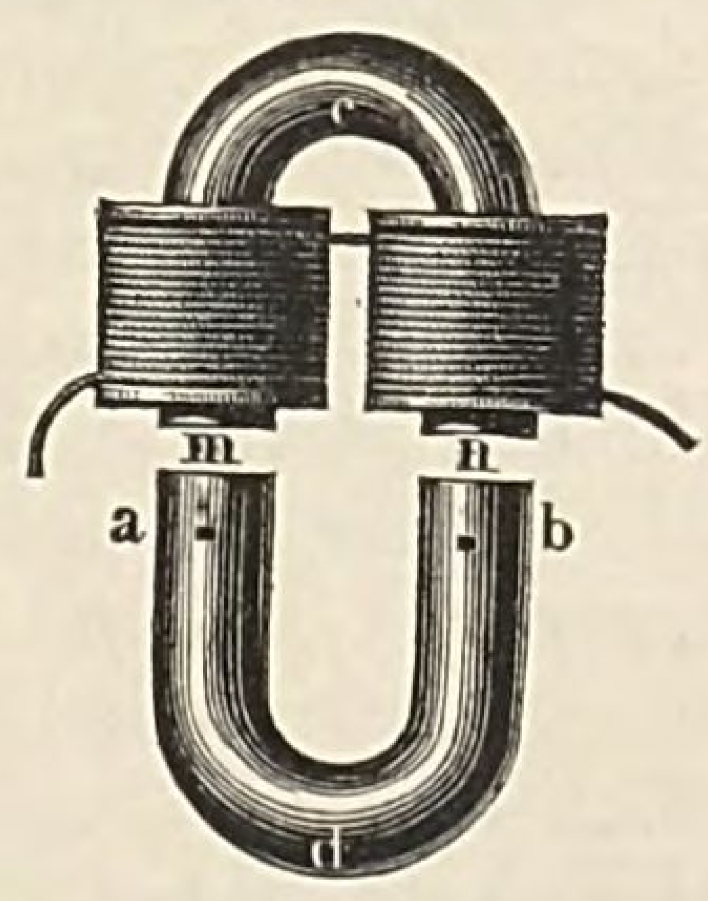
Die Kräfte, die von einem Magneten ausgehen, wirken aber nicht blos auf Eisen magnetisirend, anziehend und abstossend. Sie erzeugen auch in gewissen Fällen elektrische Ströme. Sobald man einen ge-

schlossenen Drahtkreis, am besten eine Drahtspirale, in der Nähe eines solchen Magneten bewegt, so werden, wie im ersten Abschnitt ausführlich beschrieben wurde, in dem Drahtkreis, in der Drahtspirale, momentane Induktionsströme erregt. Jede Annäherung einer solchen Spirale an einen Nordpol bringt Ströme hervor, welche durch die Spirale wie der Zeiger einer Uhr laufen. Eben dieselbe Richtung der Ströme wird durch Entfernung der Spirale vom Südpol hervorgebracht. Dagegen erzeugt die Annäherung an einen Südpol und ebenso die Entfernung von einem Nordpol Ströme in umgekehrter Richtung, die entgegengesetzt dem Uhrzeiger durch die Spirale fliessen. Man kann nun, wie wir gesehen haben, leicht eine ganze Reihe von solchen momentanen Induktionsströmen erhalten, wenn man eine aus zwei Theilen bestehende Spirale vor den Polen eines Hufeisenmagneten rotiren lässt. Es muss nur der Draht der Spiralen so gewickelt sein, dass er in der einen die Richtung des Zeigers einer Uhr verfolgt, in der anderen die entgegengesetzte Richtung. Viel stärker werden diese Induktionsströme, wenn man die Enden eines Hufeisens von weichem Eisen spiralförmig mit Draht fest umwindet. Dann wird nämlich bei der Annäherung an den festen Magneten das weiche Eisen magnetisch und inducirt in Folge dessen starke Ströme in den Spiralen. Eine einfache Anordnung eines solchen Apparates zur Erzeugung von Induktionsströmen durch Magnetoinduktion zeigt Fig. 187. In dieser ist a b ein feststehender Hufeisenmagnet, über welchem sich das hufeisenförmig gebogene Stück weichen Eisens c mit den beiden Spiralen befindet, die seine Enden m und n umgeben.

Der Magnet a b wird, wie gewöhnlich, der inducirende Magnet genannt, die Spiralen mit ihrem Eisenkern der Induktor.

Nehmen wir an, es sei a ein Nordpol und b ein Südpol und es werde der Induktor um eine vertikale Axe gedreht. Dann entfernt sich zu gleicher Zeit m von dem Nordpol und n von dem Südpol. Dadurch wird aber in dem weichen Eisenkern c der inducirte Magnetismus geändert. Bei der in der Figur gezeichneten Lage ist in m ein Südpol inducirt, in n ein Nordpol. Bewegt sich der Induktor (bis zu einer halben Umdrehung), so wird der Südmagnetismus in m immer mehr geschwächt und geht schliesslich in Nordmagnetismus über. Ebenso wird der Nordmagnetismus in n immer mehr geschwächt und geht schliesslich in Südmagnetismus über. Durch die Schwächung des Südmagnetismus in m wird aber in der Spirale um m ein Strom inducirt, der dieselbe Richtung hat, als wenn der Südpol plötzlich aus m entfernt wäre, d. h. der Induktionsstrom fliesst durch die um m gewickelte Spirale in der Richtung des Uhrzeigers. In der Spirale um n wird zugleich durch die Schwächung des Nordmagnetismus in n ein Strom erzeugt, der entgegengesetzt läuft, also umgekehrt wie ein Uhrzeiger. Da aber die beiden Spiralen entgegengesetzt gewickelt sind, der Draht um beide in entgegengesetzten Windungen läuft, so vereinigen sich diese beiden Ströme in der Spirale und in

Fig. 187.



ihrem äusseren Verbindungskreis (der in der Figur nicht gezeichnet ist). So bekommt man also durch die Entfernung des Poles m von a und n von b einen Strom, der in einer bestimmten Richtung durch die Spirale und ihren Verbindungsdraht fliesst.

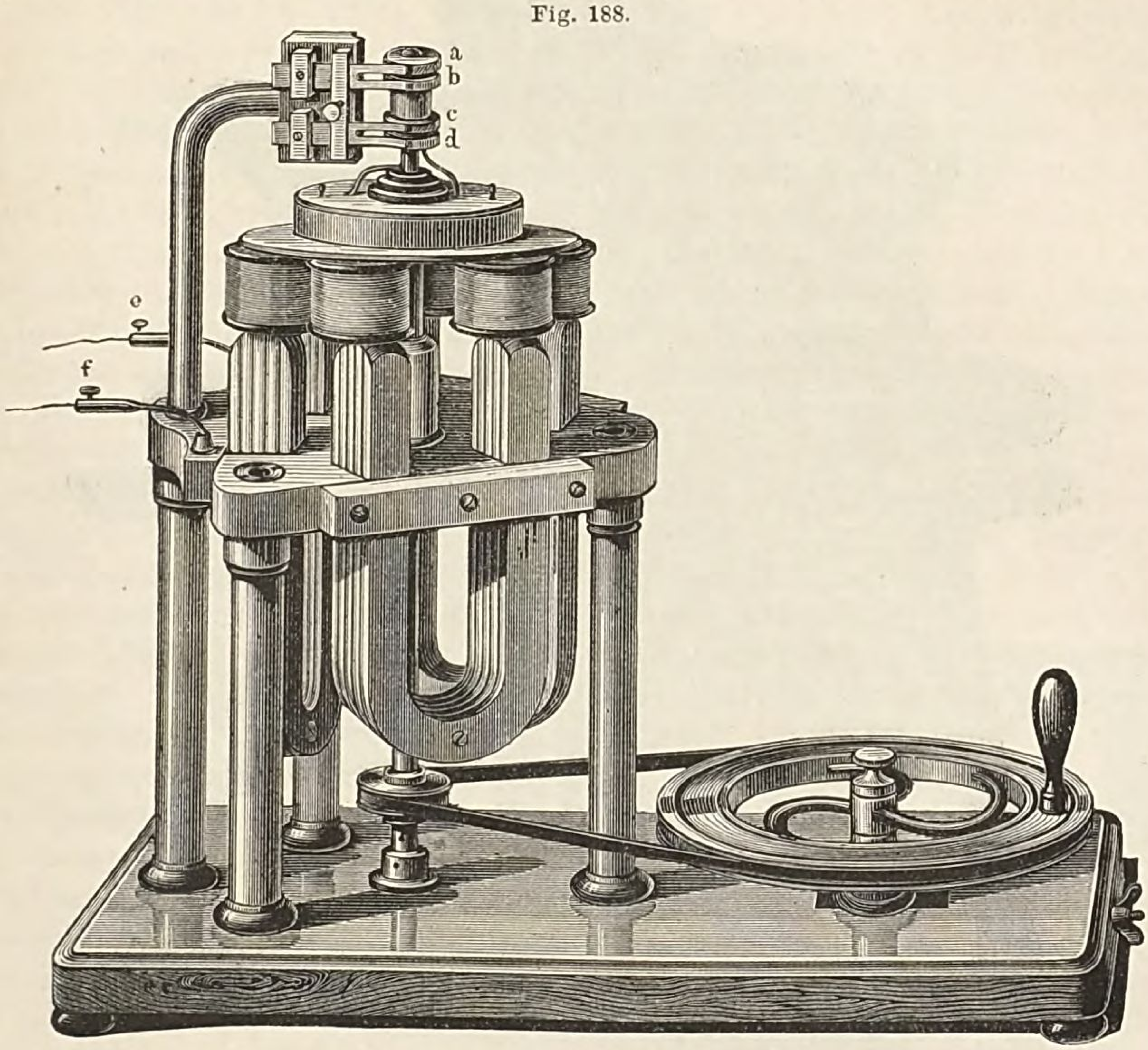
Hat aber der Induktor eine halbe Umdrehung gemacht, so dass m über b und n über a zu liegen kommt und rotirt er nun weiter, so entfernt sich m von einem Südpol, n von einem Nordpol, es finden also gerade die entgegengesetzten Verhältnisse statt. Es wird ein Induktionsstrom erzeugt, der die entgegengesetzte Richtung hat wie der frühere. Und so geht es immer weiter. Bei den Umdrehungen des Induktors vor den Polen des Magneten a b entstehen in den Spiralen und ihrem Verbindungsdraht eine Reihe Induktionsströme, aber bei jeder halben Umdrehung ändert sich die Richtung des Stromes. Man bekommt bei fortdauernder Rotation des Induktors fortwährend Wechselströme in den Spiralen und ihrem Verbindungsdraht, wie das auf S. 183 ausführlich erörtert wurde.

Dies ist schon das einfachste Beispiel einer Maschine, in welcher durch Bewegung eines Induktors vor einem Magneten elektrische Ströme erzeugt werden. Man nennt diese Maschinen magnetelektrische Maschinen. Bei der ersten wirklich construirten Maschine dieser Art liess Pixii nicht den Eisenkern mit seinen Spiralen rotiren und den Magneten fest stehen, sondern er stellte im Gegentheil den Eisenkern mit den Spiralen fest und brachte den Hufeisenmagneten um seine Axe in Rotation. Der Effekt auf die Spiralen war natürlich derselbe. Bei jeder halben Umdrehung des Magnetes wurde ein neuer, entgegengesetzt gerichteter Induktionsstrom erzeugt. Will man umgekehrt den Magneten fest stehen lassen und die Spiralen bewegen, so muss man eine Einrichtung treffen, dass der äussere Stromkreis in beständigem Contakt mit dem Induktor, auch während seiner Bewegung, bleibt. Dies erreicht man dadurch, dass man die Enden der Spiralen an die Drehungsaxe führt und dort z. B. in Metallringe ausgehen lässt, an die dann durch rollende oder schleifende Contakte der äussere Schliessungskreis angelegt wird. Im Anfang benutzte man kleine Rädchen als Contakte, bei allen neueren Maschinen aber lässt man Bürsten aus Kupferdraht an der Axe schleifen und durch diese den Strom von der Maschine in den äusseren Schliessungskreis führen.

Die Stärke der in den Drahtspulen inducirten Ströme hängt ausser von dem genannten Widerstand wesentlich ab von der Stärke der inducirenden Magnete und von der Geschwindigkeit der Rotation. Um also die Ströme zu verstärken, musste man darauf sinnen, starke Magnete anzuwenden und die Geschwindigkeit der Rotation zu vergrössern. Da man einen Stahlmagnet nicht beliebig stark magnetisiren kann, so schien das einfachste Mittel zur Erreichung des ersten Zweckes das zu sein, dass man die Anzahl der inducirenden Magnete und ebenso die Anzahl der Induktorrollen vergrösserte. Dieses Mittel wendete auch Stöhrer zuerst an. Er construirte Maschinen, wie die in Fig. 188 gezeichnete, in welcher drei Hufeisenmagnete aufrecht stehen und über deren Enden 6 zusammenhängend gewickelte Drahtspulen mit weichen Eisenkernen rotiren, die alle auf einer Eisenplatte befestigt sind. Es

ist diese Maschine schon auf S. 185 beschrieben. Sie ist noch dazu eingerichtet, um mit der Hand gedreht zu werden. Wollte man die Ströme viel stärker machen, so musste man die Maschinen so construiren, dass sie durch eine Maschine, eine Dampfmaschine oder Gasmaschine, in äusserst rasche Rotation versetzt werden konnten.

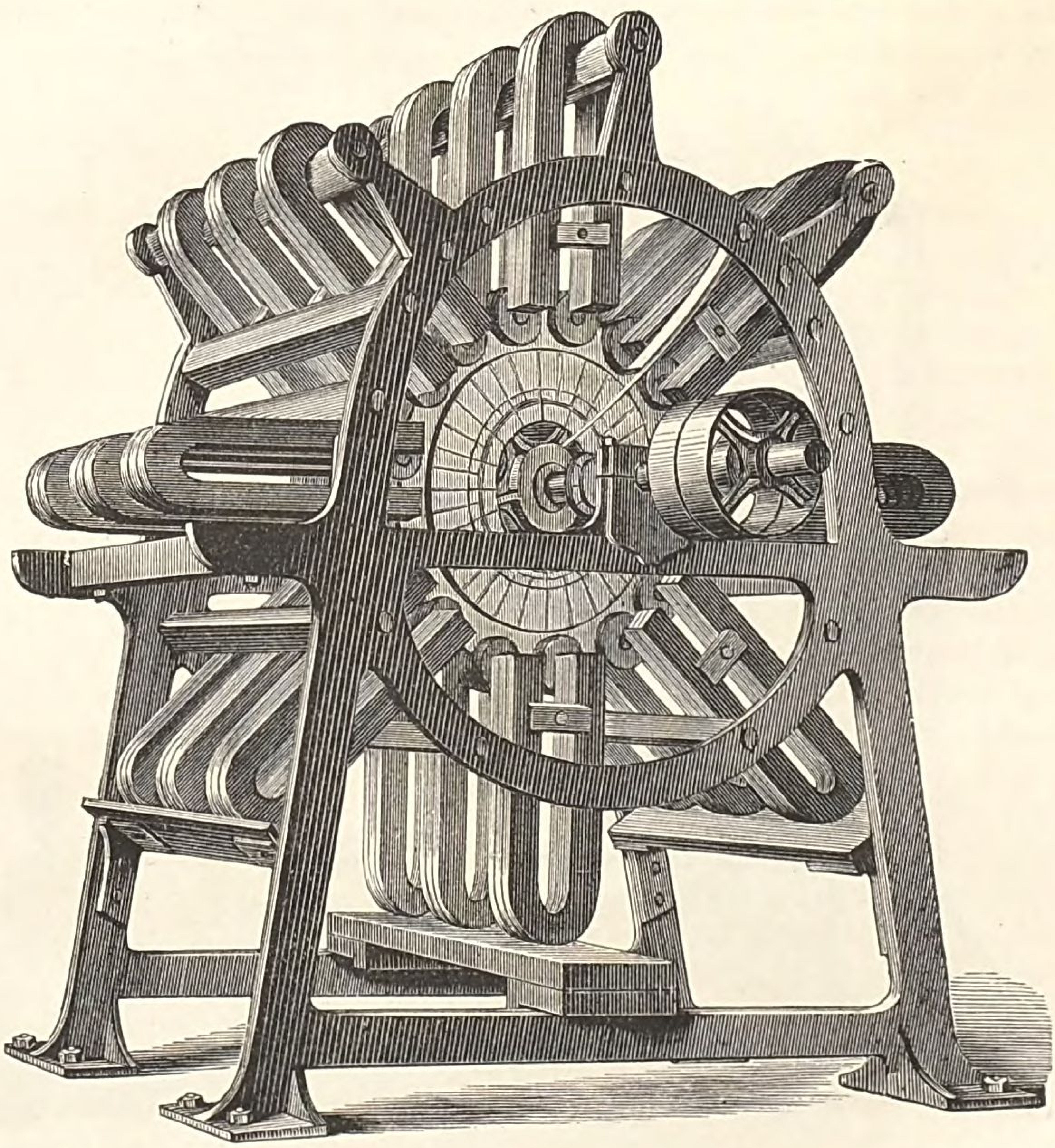
Fig. 188.



Man konnte also erwarten, dass wenn man grosse Maschinen bauen würde, mit vielen Magneten und in fester Construktion, dass man dann Ströme von sehr erheblicher Stärke erhalten konnte. Ausserdem war eine direkte Forderung des Princips der Maschinen die, dass die beweglichen Rollen möglichst nahe an den Polen der inducirenden Magnete vorbeigedreht werden. Denn je näher an den Polen die Drahtrollen sind, desto stärker ist die inducirende Wirkung der Magnete. Auf diese Weise wurden in Frankreich von der Gesellschaft l'Alliance grosse Maschinen gebaut mit 32—48 Magneten und 64—96 Rollen, welche dicht an den Polen der Magnete vorbei rotirten. Diese Alliancemaschinen wurden durch Dampfkraft getrieben und lieferten Ströme von so erheblicher Stärke, dass sie zur Erzeugung von elektrischem Licht auf Leuchtthürmen verwendet wurden und noch verwendet werden. Direkt geben die Maschinen natürlich Wechselströme. Für die elektrische Beleuchtung sind aber Wechselströme ebenso brauchbar, wie gleichgerichtete Ströme, da die Lichtstärke nur von dem Quadrat der Stromstärke abhängt.

Eine Ansicht der Alliancemaschine, welche nach dem Erwähnten leicht verständlich sein wird, giebt Fig. 189. Bei dieser Maschine

Fig. 189.



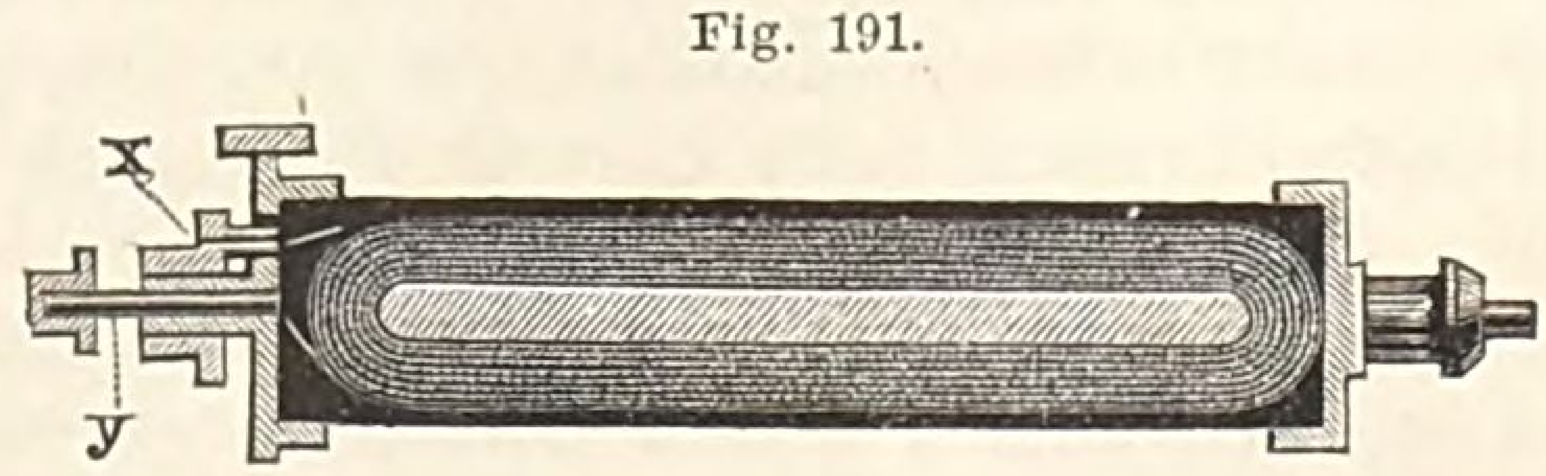
rotiren die Drahtrollen, welche auf der Axe der Maschine befestigt sind, zwischen den entgegengesetzten Polen je zweier verschiedener Magnete hindurch, und es wird dadurch die inducirende Wirkung der Magnete schon sehr vollständig ausgenutzt.

Auf wesentlich andere Weise erreichte Siemens denselben Zweck, indem er dem Induktor die Form eines Cylinders gab. Er nahm näm-

Fig. 190.



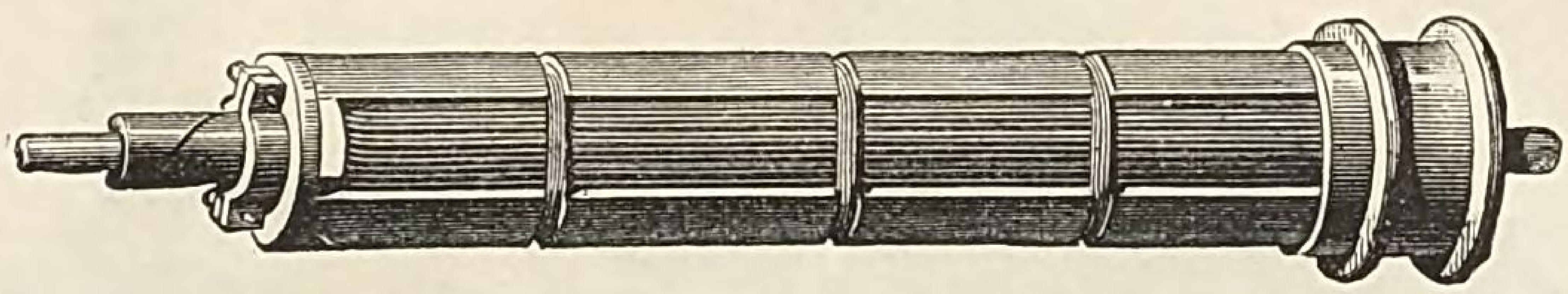
Fig. 191.



lich ein langgestrecktes Stück Eisen, dessen Querschnitt die Form eines doppelten T hat (in Fig. 190 ist der Querschnitt des Eisens schraffirt gezeichnet), und umwickelte diesen Eisenkern mit Draht, so dass die Drahtwindungen parallel der Längsrichtung des Cylinders waren.

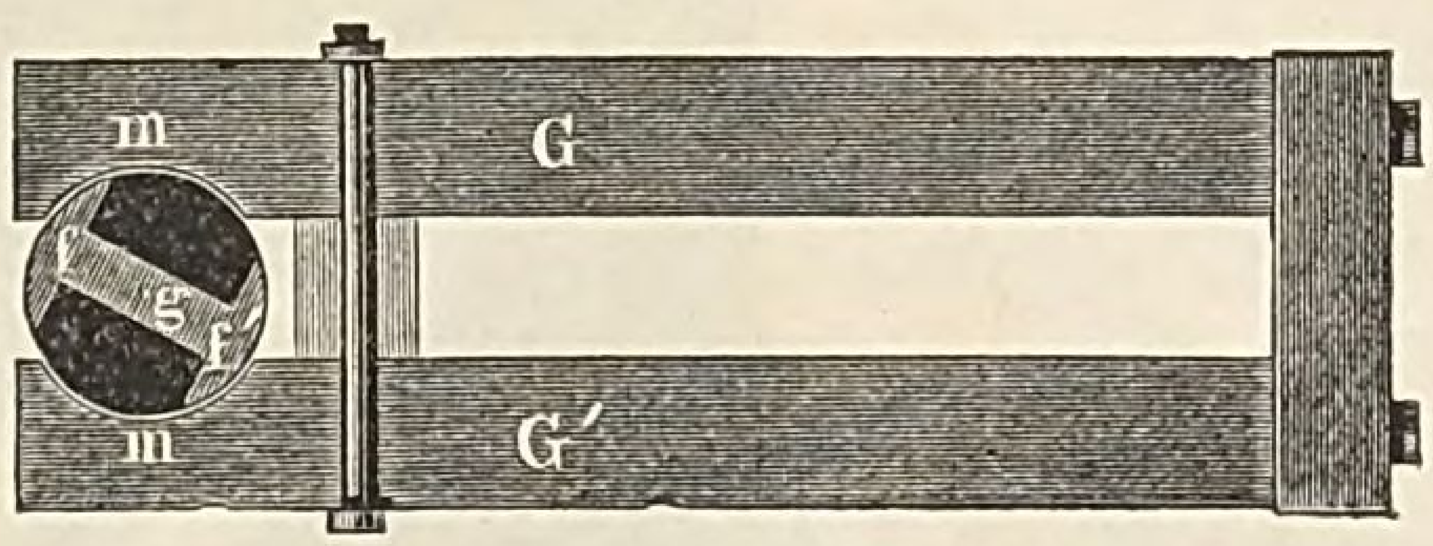
Die Drahtwindungen wurden in solcher Anzahl über einander gelegt, dass der ganze Induktor, Eisenkern und Windungen zusammen wieder die Form eines Cylinders hatte. Die Fig. 191 stellt den Längsschnitt und Fig. 192 die Ansicht eines solchen Cylinders dar. Man nennt diesen

Fig. 192.



Induktor einen Cylinderinduktor oder Doppel-T-Anker. Dieser Cylinder wurde nun zwischen die Pole eines Hufeisenmagnets, oder vielmehr einer Reihe neben einander liegender Hufeisenmagnete eingeschoben. Die Magnete waren deshalb an den Polenden kreisförmig ausgeschnitten, so dass der Cylinderinduktor gerade in diese Höhlung hineinpasste. Die Fig. 193 zeigt die Ansicht der Lage des Induktors innerhalb der Magnetpole im Querschnitt. G G′ sind die Schenkel des Hufeisenmagneten, dessen Pole bei m und m′ liegen und f g f′ ist der Querschnitt des Cylinderinduktors. Durch die Nordpole der Hufeisenmagnete wird die ihnen gegenüberliegende Fläche des Eisenkerns südmagnetisch und die andere ebenso durch Induktion nordmagnetisch. Da nun die Windungen des Drahtes in Bezug auf die beiden Pole entgegengesetzt laufen, wie Fig. 191 zeigt, so vereinigen sich die gleichzeitig durch den Nordpol und den Südpol des Induktors erzeugten Ströme. Bei jeder halben Umdrehung des Induktors wird der Strom in demselben und in dem äusseren Verbindungsdraht ein entgegengesetzter. Führt man die Enden des Drahtes direkt durch Schleiffedern auf zwei vollständig metallische mit der Axe isolirt verbundene Ringe und verbindet man diese durch einen Schliessungsdraht, so erhält man wieder wie früher Wechselströme. Schaltet man einen Commutator ein, so kann man mit Leichtigkeit die Ströme alle gleich richten, so dass man fortwährend Ströme von derselben Richtung im Schliessungsdraht erhält. Die Ansicht einer magnetelektrischen Maschine mit Siemens'schem Cylinderinduktor ist in Fig. 194 gegeben. Durch die am oberen Theil der Maschine befindliche Kurbel H und verschiedene Zahnräder wird der Cylinder E E zwischen den Magneten G G′ in sehr rasche Rotation versetzt. Die Klemmen s und s′, welche mit den Federn verbunden sind, die auf der Axe schleifen, werden durch den äusseren Schliessungsdraht geschlossen.

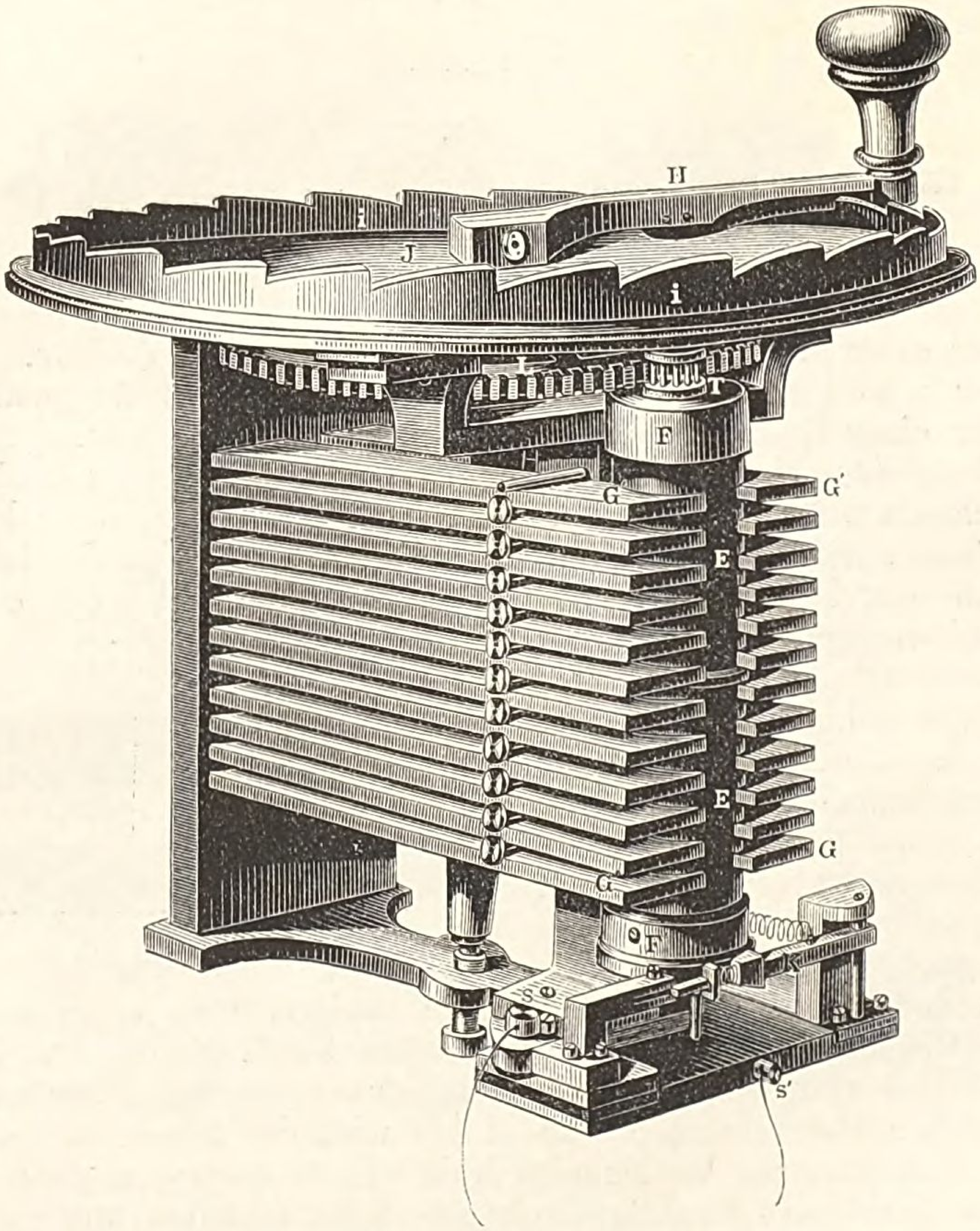
Fig. 193.



Bei dieser Siemens'schen Anordnung ist der Induktor so dicht an die Pole der Hufeisenmagnete gebracht, dass sein Eisenkern möglichst vollständig magnetisirt werden muss. Dadurch werden die In-

duktionsströme in den Drähten möglichst stark, so stark wie sie überhaupt unter den sonstigen Verhältnissen des Apparats werden können.

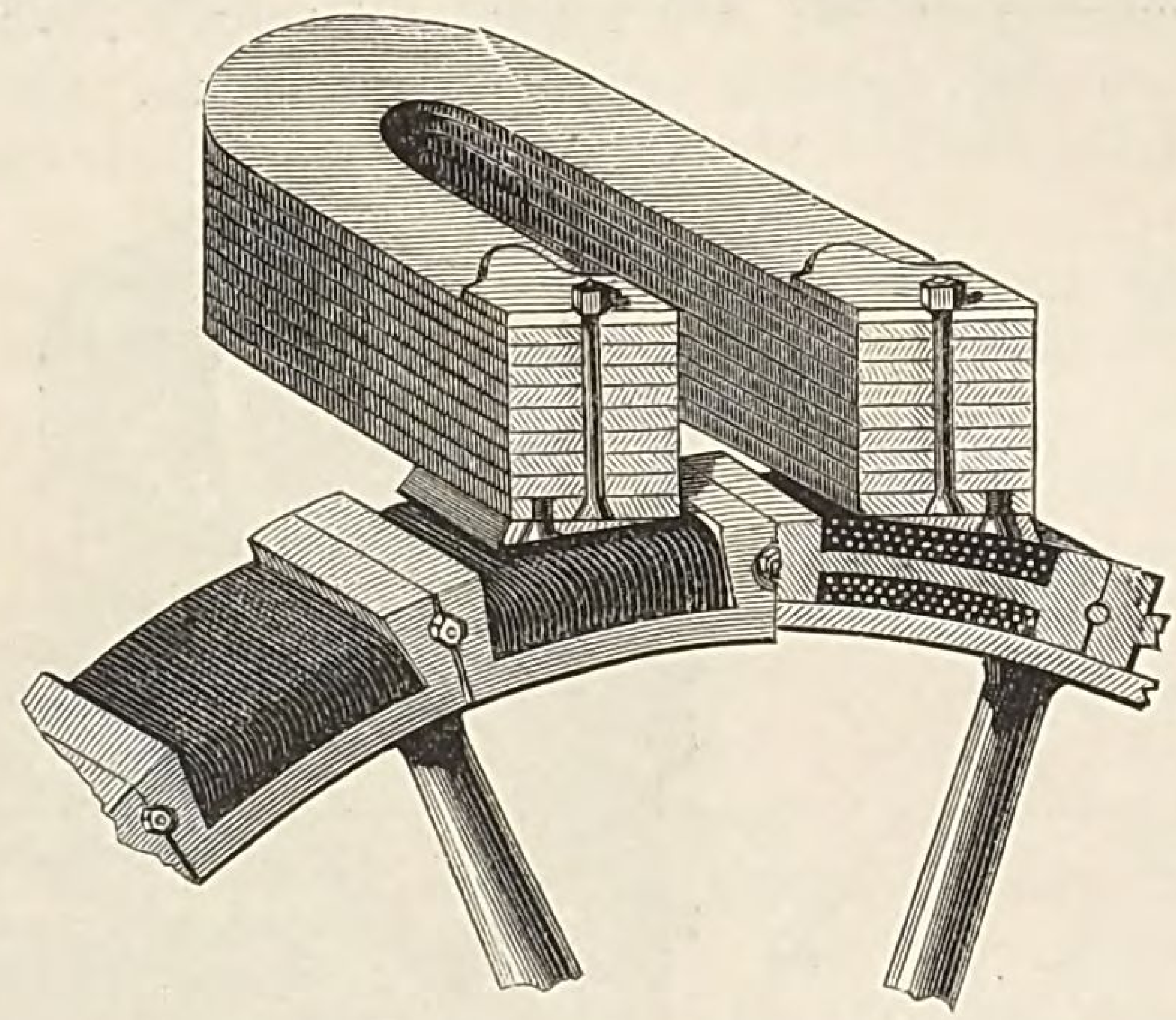
Fig. 194.



In anderer Weise ist eine möglichst vollständige Ausnutzung der magnetischen Induktion durch eine Anordnung erreicht, welche neuerdings de Méritens bei seinen magnetelektrischen Maschinen anwendet. Der Induktor besteht nämlich aus einem eisernen Radkranz, der aus 16 Sektoren zusammengesetzt ist. Je zwei dieser Eisenstücke sind an einander durch Kupferstücke befestigt. Ein jeder von den Sektoren ist, wie Fig. 195 zeigt, mit Drahtwindungen parallel der Radaxe umwickelt und so besteht also der ganze Radinduktor, wie man ihn nennen kann, aus 16 mit einander verbundenen Induktoren. Dieser Induktor rotirt nun mit grosser Geschwindigkeit dicht vor den Polen von 8 kräftigen Hufeisenmagneten, welche im Kreise auf einem Gestell angeordnet sind. Bei der Rotation werden in den einzelnen auf einander folgenden Sektoren Ströme von verschiedener Richtung erzeugt, da der eine Sektor z. B. sich von einem Nordpol zu einem

Südpol, der darauf folgende zugleich sich von einem Südpol zu einem Nordpol bewegt. Die Drähte der einzelnen Sektoren sind deshalb so mit einander verbunden, dass sie in je zwei benachbarten Sektoren entgegengesetzt laufen, so dass der Strom von allen Sektoren sich zu einem starken Hauptstrom zusammensetzt. Bei jedem 16ten Theil einer ganzen Umdrehung wechselt der Strom in der Maschine und wird nun als Wechselstrom in den äusseren Verbindungsdraht gelassen. Man braucht aber nicht alle Sektoren mit einander zu verbinden, sondern kann z. B. je 8 oder je 4 mit einander in Verbindung setzen. Dann erhält man aus der Maschine 2 oder 4 ganz getrennte Stromkreise, in deren jeden man z. B. eine elektrische Lampe einschalten kann. Die Maschine von de Méritens, die neuerer Construktion ist, giebt sehr kräftige Ströme und wird zu Beleuchtungszwecken öfters angewendet.

Fig. 195.

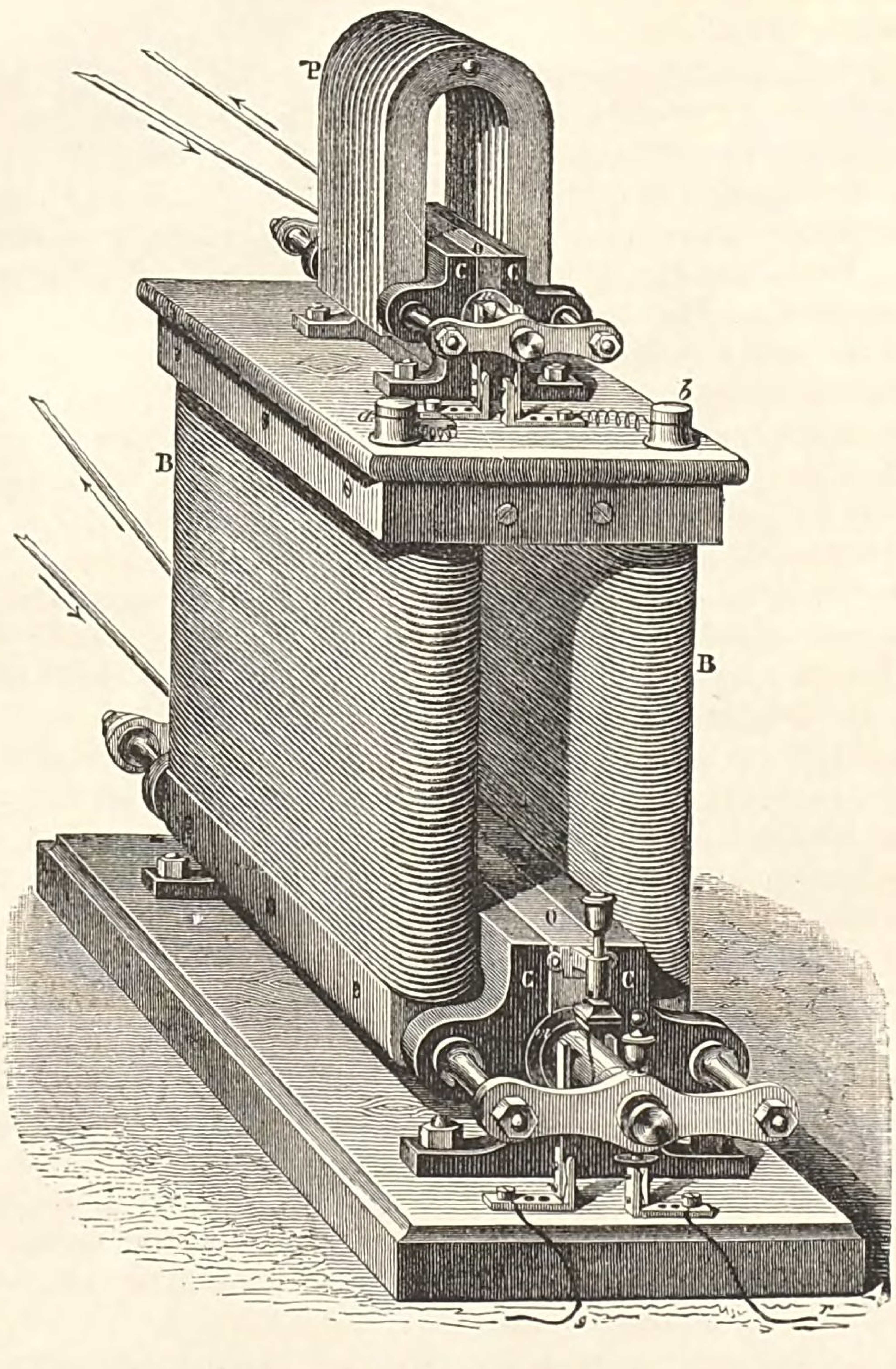


Ein leicht zu beseitigender Uebelstand dieser und aller anderen bisher beschriebenen Maschinen liegt aber auf der Hand. Alle diese Maschinen wenden Stahlmagnete an, um die Ströme zu induciren. Nun ist aber der Magnetismus von Stahlmagneten ein verhältnissmässig unbedeutender. Er hängt von der Grösse des Magneten ab, lässt sich auch sehr vergrössern, wenn man den Magneten aus einer Reihe von Lamellen zusammensetzt, aber er ist ausserordentlich viel schwächer als der Magnetismus, den man durch elektrische Ströme in gleich grossen Stücken von weichem Eisen erzeugen kann. Man konnte daher von vornherein sagen, dass die Induktionsströme einer solchen magnetelektrischen Maschine viel stärker werden müssten, wenn man statt der Stahlmagnete Elektromagnete zur Induktion benutzte. Der erste, der dies mit grossem Erfolge that, war Wilde, und seine Maschine bildet den Uebergang zu der bedeutendsten Erfindung auf diesem Gebiete, zu den Dynamomaschinen.

Wilde erzeugte erst durch eine gewöhnliche magnetelektrische Maschine mit Siemens'schem Cylinderinduktor und Stahlmagneten einen Strom, den er durch einen Commutator gleich richtete, und sendete diesen nachher durch die Windungen eines grossen Elektromagnets, zwischen dessen Polen sich wieder ein Cylinderinduktor von grösserer Form befand. Durch den Strom der ersten Maschine wurde der Eisenkern des Elektromagnets sehr kräftig magnetisch und mithin wurden die Ströme des zweiten Induktors von sehr bedeutender Stärke. In Fig. 196 ist eine Ansicht der Wilde'schen Maschine gegeben. Die Hülfsmaschine, welche

den Strom für die Elektromagnete erzeugt, sitzt auf der Hauptmaschine, ihr Cylinderinduktor befindet sich zwischen den Polen der Stahlmagnete P. Ihr Strom wird durch einen Commutator gleich gerichtet und geht dann durch die Klemmen a und b in die Windungen des Elektromagnets B der Hauptmaschine. Der Cylinderinduktor m derselben,

Fig. 196.



welcher sich zwischen den Polschuhen CC ihres Magnets befindet, liefert dann die starken Ströme, welche zur Erzeugung von Licht und zu anderen Zwecken benutzt werden können. Die beiden Cylinderinduktoren sind durch Riemen mit einer Welle verbunden, die von einer Dampfmaschine gedreht wird.

Während man die Wechselstrommaschinen kleinerer Construktion direkt kaum benutzen konnte, sondern sie erst durch einen Commutator in Maschinen für constanten Strom umwandeln musste, entstand

mit dem Fortschreiten der Elektrotechnik das Bedürfniss, für gewisse Zwecke geradezu Wechselstrommaschinen zu bauen. Für elektrisches Licht lassen sich nämlich Wechselströme, wie wir sehen werden, ganz ebenso benutzen wie gleich gerichtete Ströme, und in manchen Fällen, insbesondere für die Jablochkoff'schen Kerzen, sind Wechselströme allein anwendbar. Aus diesen Gründen werden in neuerer Zeit auch noch immer Wechselstrommaschinen gebaut und jetzt zum Theil solche von kolossalen Dimensionen.

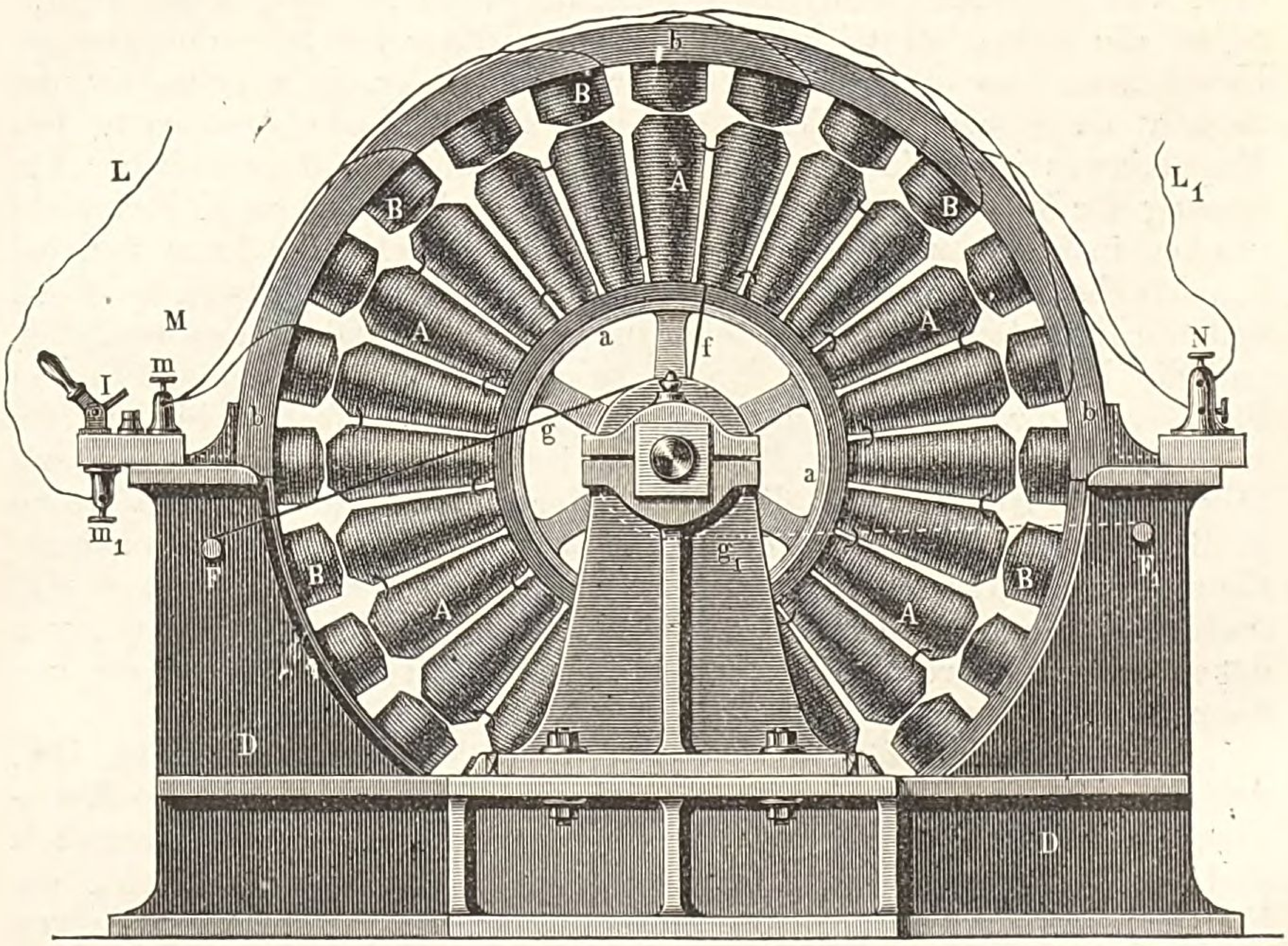
Stets befinden sich bei den Wechselstrommaschinen Magnete, und zwar jetzt stets Elektromagnete, und Drahtspulen. Die letzteren werden gewöhnlich mit Eisenkernen angewendet. Dadurch erlangt man zwar viel kräftigere Induktionsströme, als wenn man auf blosse Drahtrollen die Induktion wirken lässt. Aber dafür hat man den grossen Uebelstand, dass die Eisenkerne sehr rasch hinter einander positiv und negativ magnetisch werden und diese fortwährende Aenderung des Magnetismus ist, wie wir S. 138 gesehen haben, mit erheblicher Erhitzung der Maschine verbunden, der man durch besondere Kühlvorrichtungen, insbesondere Ventilation, begegnen muss. Man kann nun bei den Wechselstrommaschinen entweder die Magnete feststehen lassen und die Induktoren bewegen, oder umgekehrt die Induktoren feststellen und die Magnete bewegen. Im letzteren Falle kann man den äusseren Stromkreis direkt mit den Enden der Induktoren fest verbinden, im ersteren Falle muss man ihm durch Schleifcontakte den Strom zuführen. Im Uebrigen ist die Form der Induktoren und ihre Lage in Bezug auf die Magnete dasjenige, was bei den einzelnen Construktionen verschieden ist. Von den Maschinen mit festen Induktoren und drehbaren Magneten erwähnen wir die von Lontin und Gramme, von denen mit drehbaren Induktoren und festen Elektromagneten die von Siemens und Ferranti.

Die Maschine für Wechselströme von Lontin zeigt Fig. 197. Auf der Axe der Maschine sitzt ein Radkranz, auf welchem 24 Eisenkerne A A befestigt sind, die mit Draht zusammenhängend umwickelt sind, so dass, wenn ein Strom durch die Drahtwindungen geht, die Enden je zweier benachbarten Kerne die entgegengesetzten Pole von Magneten werden. Dicht über den Enden dieser beweglichen Elektromagnete sitzen auf einem festen Gestell 24 Drahtspulen B mit Eisenkernen, in welchen bei der Bewegung der Elektromagnete A abwechselnde Ströme inducirt werden. Der Strom für die Elektromagnete wird von einer Hülfsmaschine geliefert, die in der Figur nicht gezeichnet ist. Er tritt bei F in die Hauptmaschine ein, geht dann durch Schleiffedern, die auf der Axe der Maschine schleifen, in die Elektromagnetwindungen und tritt bei F_1 auf der Hinterseite der Maschine wieder hinaus.

Auf den Drahtspulen B sind die Drähte so gewickelt, dass je zwei Spulen aus einem einzigen Draht bestehen, der in beiden, wie immer, entgegengesetzt gewunden ist. So entstehen 12 Spulenpaare. Diese könnten natürlich alle hinter einander verbunden werden, so dass man einen einzigen starken Strom nach aussen senden kann. Es ist jedoch für die Anwendung der Ströme zu Beleuchtungszwecken vortheilhaft,

nicht alle Spulenpaare mit einander zu verbinden, sondern immer nur einige von ihnen, so dass man eine Reihe von getrennten Stromkreisen hat. Zu dem Ende sind die Enddrähte der Spulenpaare alle an die Klemmen M und N gebracht, an welchen man durch einen Contakthebel beliebig viele Paare mit einander in Verbindung setzen kann. So kann man z. B., wenn man nur je ein Spulenpaar verbunden lässt, 12 getrennte Stromsysteme bekommen. Wenn man je zwei Spulenpaare verbindet, 6 Stromsysteme u. s. w. Man kann dann in jeden Stromkreis elektrische Kerzen einschalten, so dass der Strom in der einen Kerze unabhängig ist von dem in der anderen.

Fig. 197.



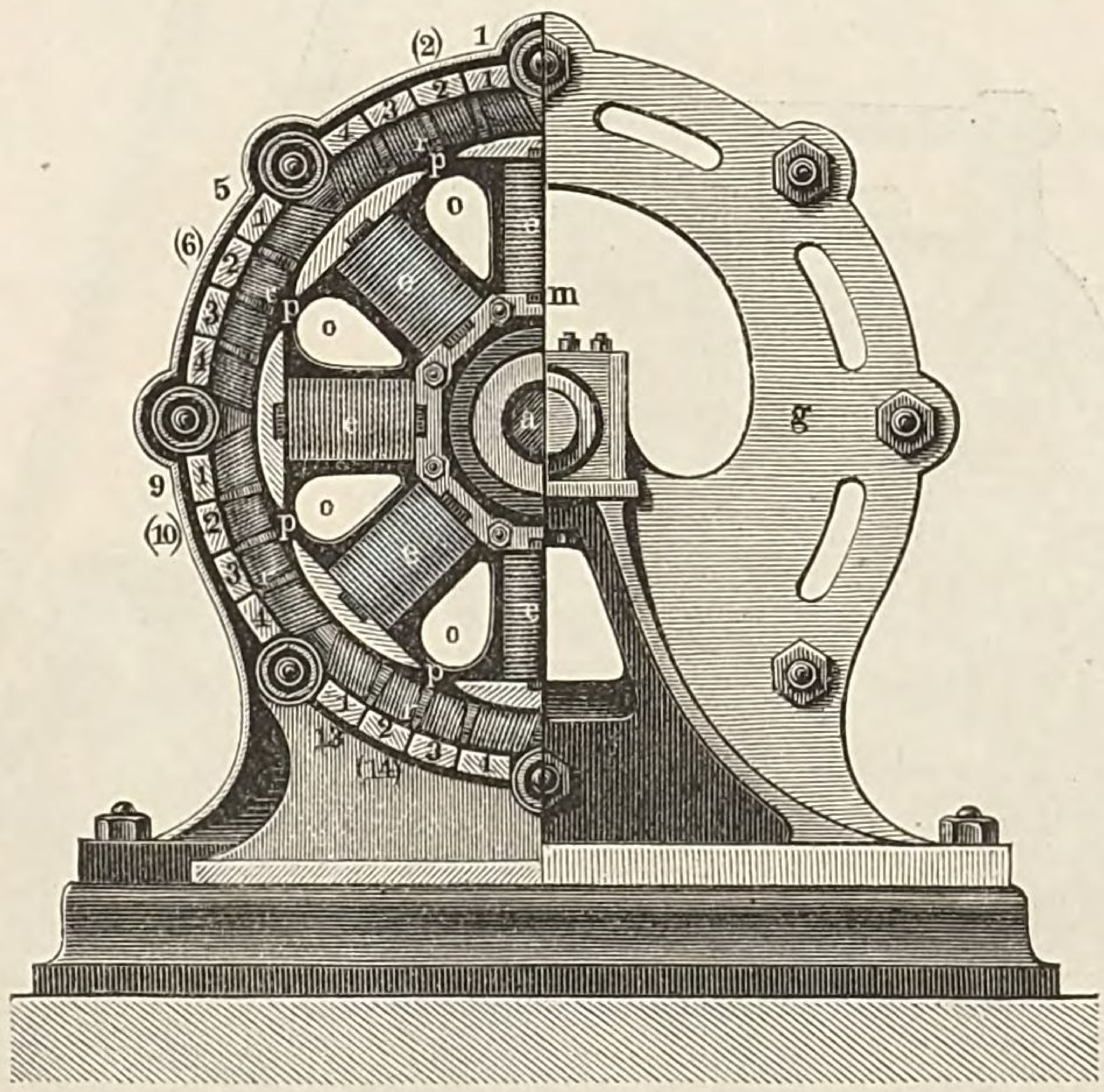
Auch die Wechselstrommaschine von G r a m m e, welche Fig. 198 zeigt, enthält auf einem Radkranze Elektromagnete e, e . . ., 8 an der Zahl, welche mit nach aussen abgerundeten Polschuhen versehen sind. Die Elektromagnete zeigen nach aussen abwechselnde Pole. Der Induktor besteht aus einem grossen eisernen Ring, welcher ganz mit Draht umwickelt ist, und zwar in 32 Abtheilungen, von denen die 1., 5., 9., 13., 17., 21., 25., 29. mit einander verbunden sind, ebenso die 2., 6., 10. . . . 30. u. s. f., so dass im Ganzen 4 Systeme entstehen. Die Enden einer jeden Abtheilung sind zu festen Klemmen geführt, so dass man zu gleicher Zeit in 4 getrennte Stromkreise den Strom senden kann. Dass in dem Induktor Wechselströme erzeugt werden müssen, ergiebt sich daraus, dass einer jeden Abtheilung abwechselnd ein Nordpol und ein Südpol sich nähert. Die Polschuhe der Magnete nehmen fast genau den Raum von 4 Abtheilungen ein, so dass alle

Spulen, die zu demselben System gehören, in gleicher Weise inducirt werden.

Die neuesten Wechselstrommaschinen dieser Art, z. B. die von Gordon und die von Ganz, haben ganz riesige Dimensionen. So besteht der (feste) Induktor der Gordon'schen Maschine aus 128 Spulen und die drehbaren Magnete erreichen die Zahl 64. Sie sind auf einem Rad angebracht. Diese Maschine ist dazu bestimmt, 5000 bis 7000 Swan-Lampen zu speisen.

Während bei den bisher beschriebenen Wechselstrommaschinen die Magnete rotirten und die Induktoren fest blieben, ist die umge-

Fig. 198.

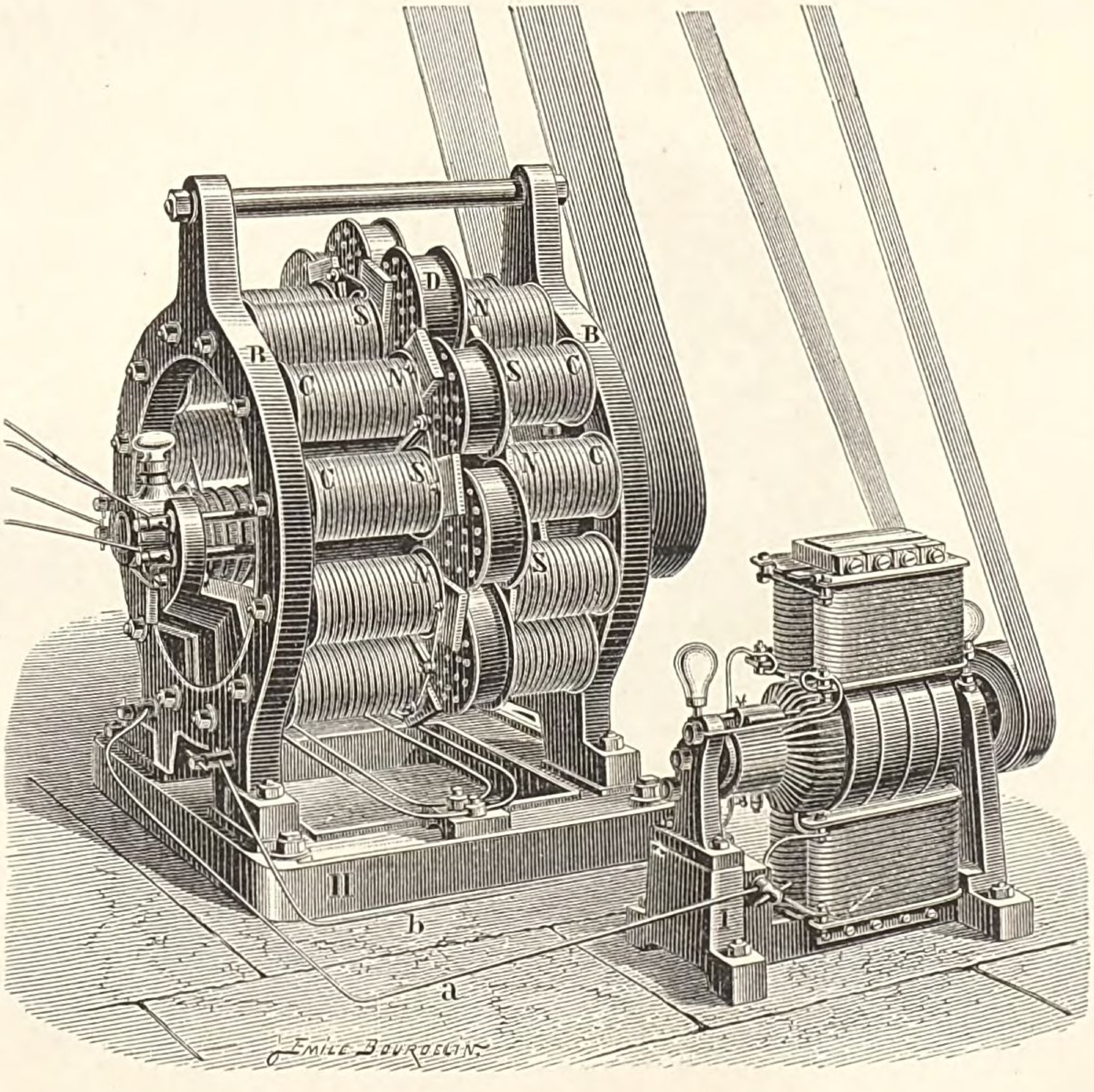


kehrte Anordnung in den Maschinen von Siemens und Ferranti getroffen.

In der Wechselstrommaschine von Siemens ist aber ausserdem mit Vortheil noch die Aenderung getroffen, dass die Induktoren gar kein Eisen enthalten. Bei allen bisher beschriebenen Maschinen nämlich enthielten die Induktoren Eisenkerne, welche mit Draht umwickelt waren. In den Induktoren entstanden nun bei der Bewegung der Maschine abwechselnd rasch hinter einander entgegengesetzt magnetische Pole, so dass also die Eisenkerne derselben fortwährend ummagnetisirt wurden, bei rascher Bewegung der Maschine mehrere hundertmal in einer Sekunde. Um diese rasche Magnetisirung und Ummagnetisirung überhaupt erreichen zu können, macht man die Induktorkerne nicht aus einem massiven Stück Eisen, sondern aus Bündeln von Eisendrähten, welche sich leichter magnetisiren und ummagnetisiren lassen. Aber auch bei diesen treten durch den raschen

Polwechsel störende Erscheinungen auf. Erstens nämlich werden die Eisenkerne gewöhnlich nicht bis zu ihrem Maximum magnetisirt, weil die magnetisirende Kraft zu kurz einwirkt. Zweitens aber werden durch die häufigen Polwechsel die Eisenkerne stark erhitzt, wie wir das schon S. 138 gesehen haben, und es werden dadurch die isolirenden Umhüllungen der Drähte leicht beschädigt. Diese und andere Nachtheile brachten Siemens dazu, bei seinen Wechselstrommaschinen

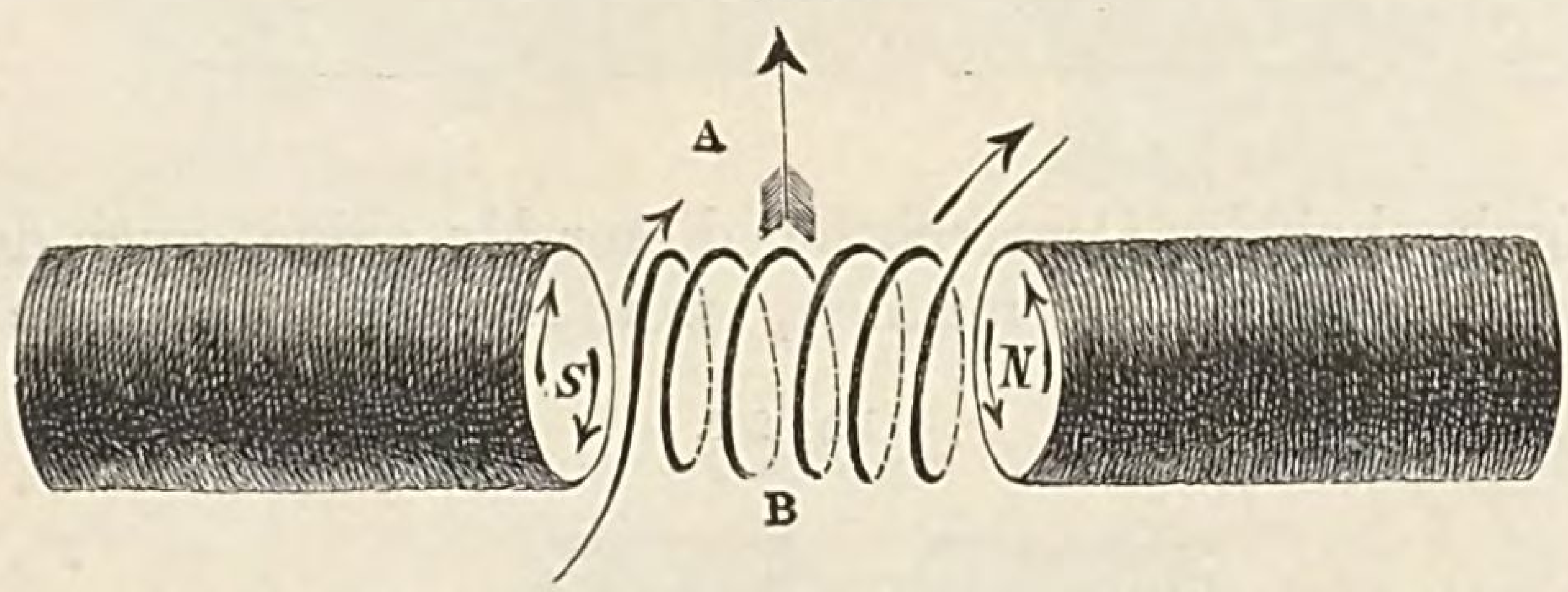
Fig. 199.



in den Induktoren gar kein Eisen anzuwenden, sondern sie aus blossen Drahtrollen bestehen zu lassen. Allerdings werden die Induktionsströme durch die Anwesenheit von Eisenkernen sehr verstärkt. Es ist aber rein Sache der Erfahrung, ob es im einzelnen Falle zweckmässiger ist, Eisenkerne anzuwenden und die oben beschriebenen Nachtheile mit in den Kauf zu nehmen, oder Induktorrollen ohne Eisenkerne zu benutzen. Das letztere ist bei der in Fig. 199 gezeichneten Wechselstrommaschine von Siemens-Halske geschehen. In der grossen Maschine befinden sich an den Seiten, fest, eine Reihe von Elektromagneten CC, 8 oder 16 auf jeder Seite, je nach der Grösse der Maschine. Die Magnete sind so gestellt, dass je ein Nordpol und ein Südpol sich einander gegenüber stehen, und dass jeder Nordpol zwei

Südpole zu seinen beiden Seiten hat und umgekehrt. Dies wird durch passende Bewickelung der Eisenkerne nach den bekannten Principien erreicht. Die Magnete werden erregt durch den Strom, der von einer kleinen Hülfsmaschine kommt, die einen gleich gerichteten Strom liefert (diese Maschine wird im Folgenden beschrieben werden). Die einander gegenüber stehenden entgegengesetzten Magnetpole bilden zwischen sich magnetische Felder von sehr bedeutender Stärke, so dass in Drahtspulen, welche in diesen Feldern sich bewegen, sehr starke elektrische Ströme erregt werden. Die Drahtrollen nun sind auf elliptische Holzspulen gewickelt, jedoch so, dass die Drähte auf je zwei auf einander folgenden Rollen entgegengesetzt laufen. Es sind nämlich in der Maschine grade so viel Drahtspulen D wie magnetische Felder, so dass, wenn die eine Spule zwischen einem Nordpol rechts und einem Südpol links steht, die beiden benachbarten Spulen je zwischen einem Südpol rechts und einem Nordpol links sich befinden. Dadurch wird erreicht, dass in jedem Moment in allen Spulen der Strom dieselbe Richtung erhält, weil in magnetischen Feldern von entgegengesetzter Polarität auch entgegengesetzt gewickelte Spulen sich befinden. Fig. 200

Fig. 200.



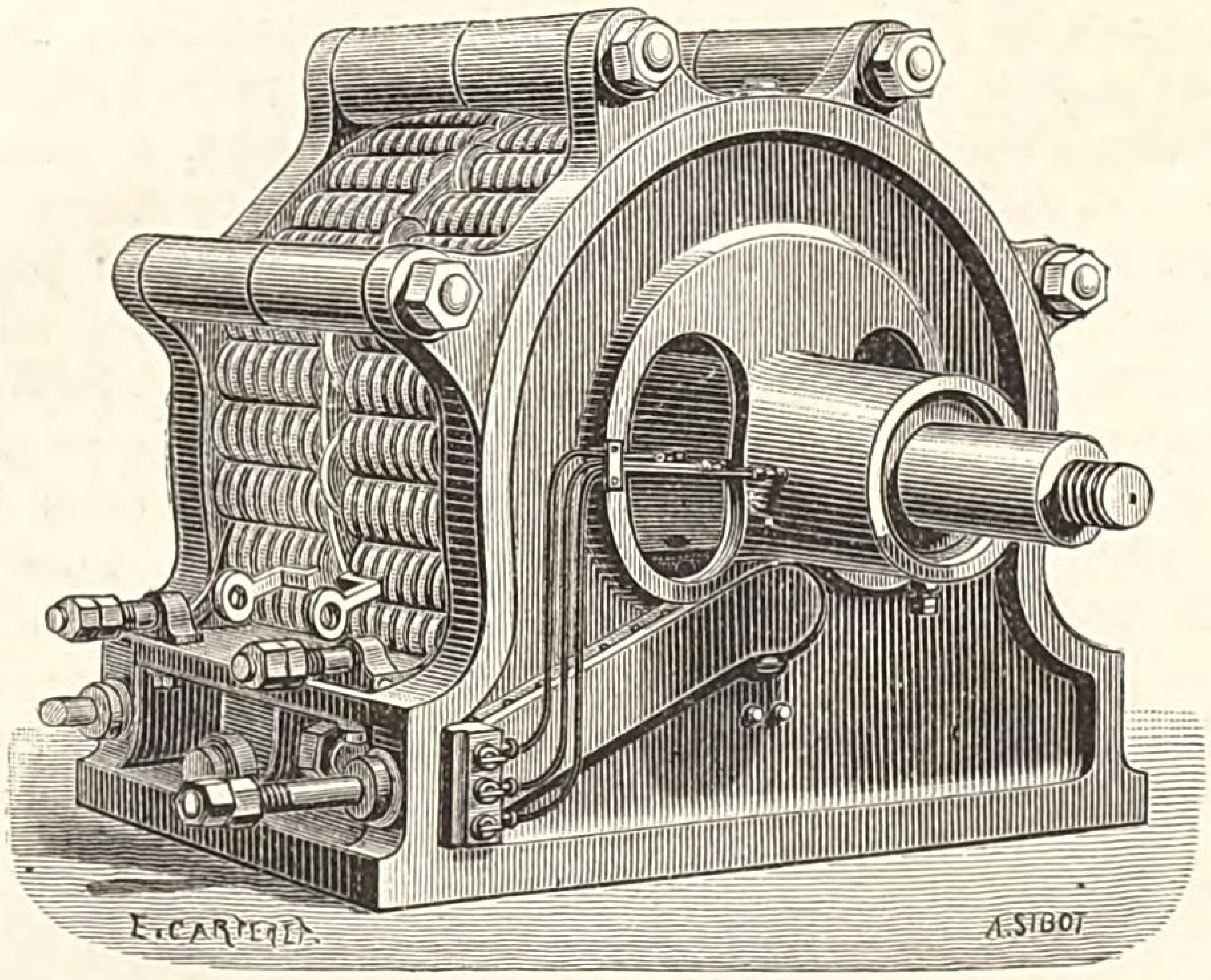
zeigt z. B. die Stromrichtung in der Spule B, wenn diese sich nach oben bewegt.

Die Drahtspulen können alle zusammen aus einem einzigen fortlaufenden Draht gewickelt sein, dessen Enden dann in zwei Schleiffedern ausgehen, die auf zwei von einander isolirten Metallringen auf der Axe schleifen. Dann bilden diese Ringe die beiden Polenden des inneren Drahtes und mit ihnen wird dann der äussere Verbindungsdraht (auch durch Schleiffedern) verbunden. Es können aber auch mehrere getrennte Stromkreise aus der Maschine abgeleitet werden, indem nämlich nicht alle Drahtspulen, sondern nur eine beliebige Anzahl von Paaren je mit einander verbunden werden. Dann gehen die Enden jedes solchen Spulensystems zu den Contaktringen auf der Axe und jedes solches System liefert dann in einen äusseren Schliessungskreis seinen Strom. Gewöhnlich werden aus einer solchen Wechselstrommaschine zwei getrennte Stromkreise gebildet. Die Siemensschen Maschinen dieser Art sind bei einer grossen Zahl von Beleuchtungsanlagen in Gebrauch und geben überall die besten Resultate.

Nur eine Modifikation dieser Maschine mit unwesentlichen Aenderungen ist die Wechselstrommaschine von Ferranti-Thomson, welche zu ganz bestimmtem Zwecke gebaut ist. Sie dient nämlich dazu, um Glühlampen in grosser Zahl zu speisen. Da bei der eigenthümlichen

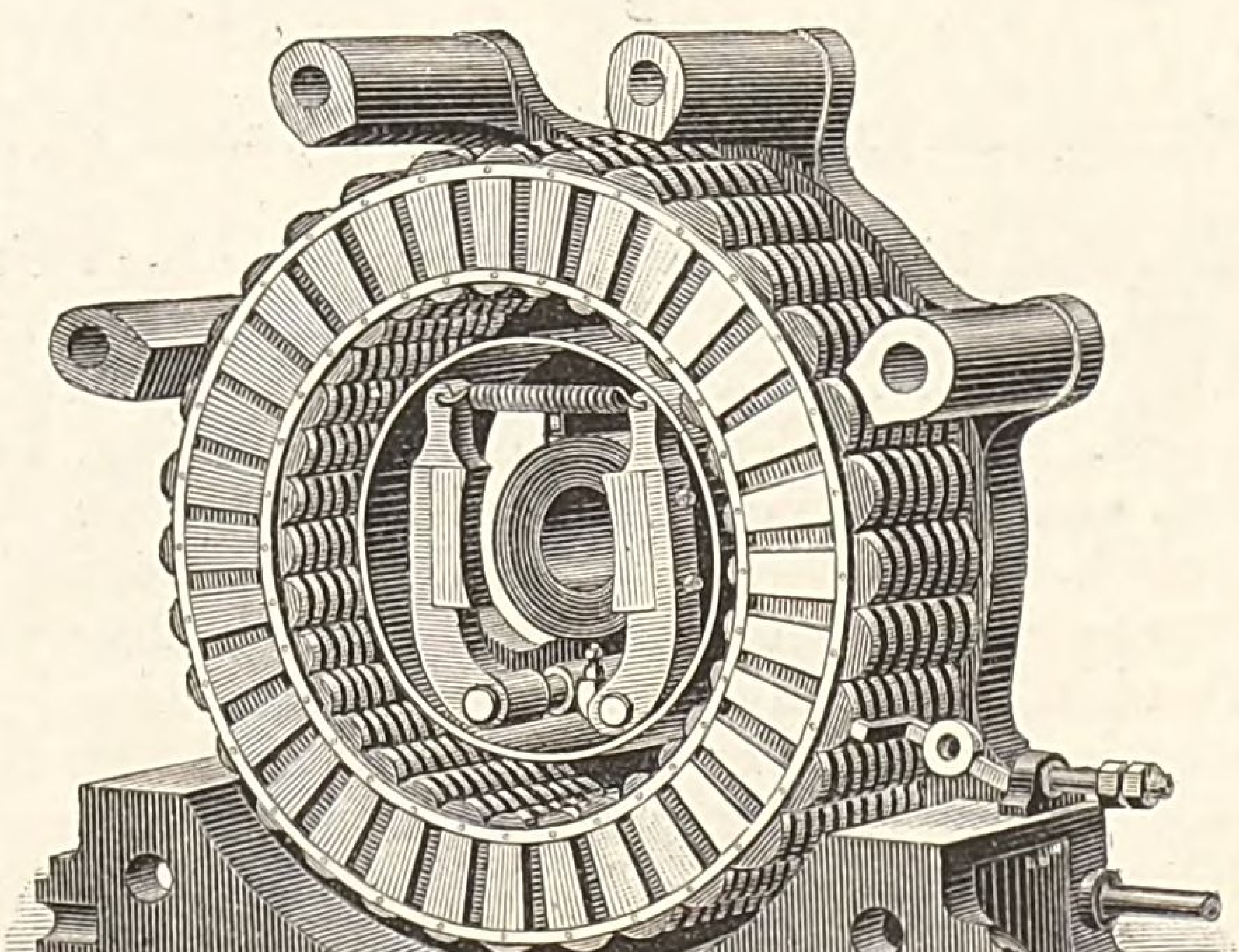
Schaltungsweise von Glühlampen, wie wir im 4. Kapitel sehen werden, der Widerstand des äusseren Stromkreises ein sehr geringer ist, so war

Fig. 201.



es die Aufgabe bei der Construktion dieser Maschine, auch den inneren Widerstand sehr klein zu machen, weil für die günstigste Wirkung

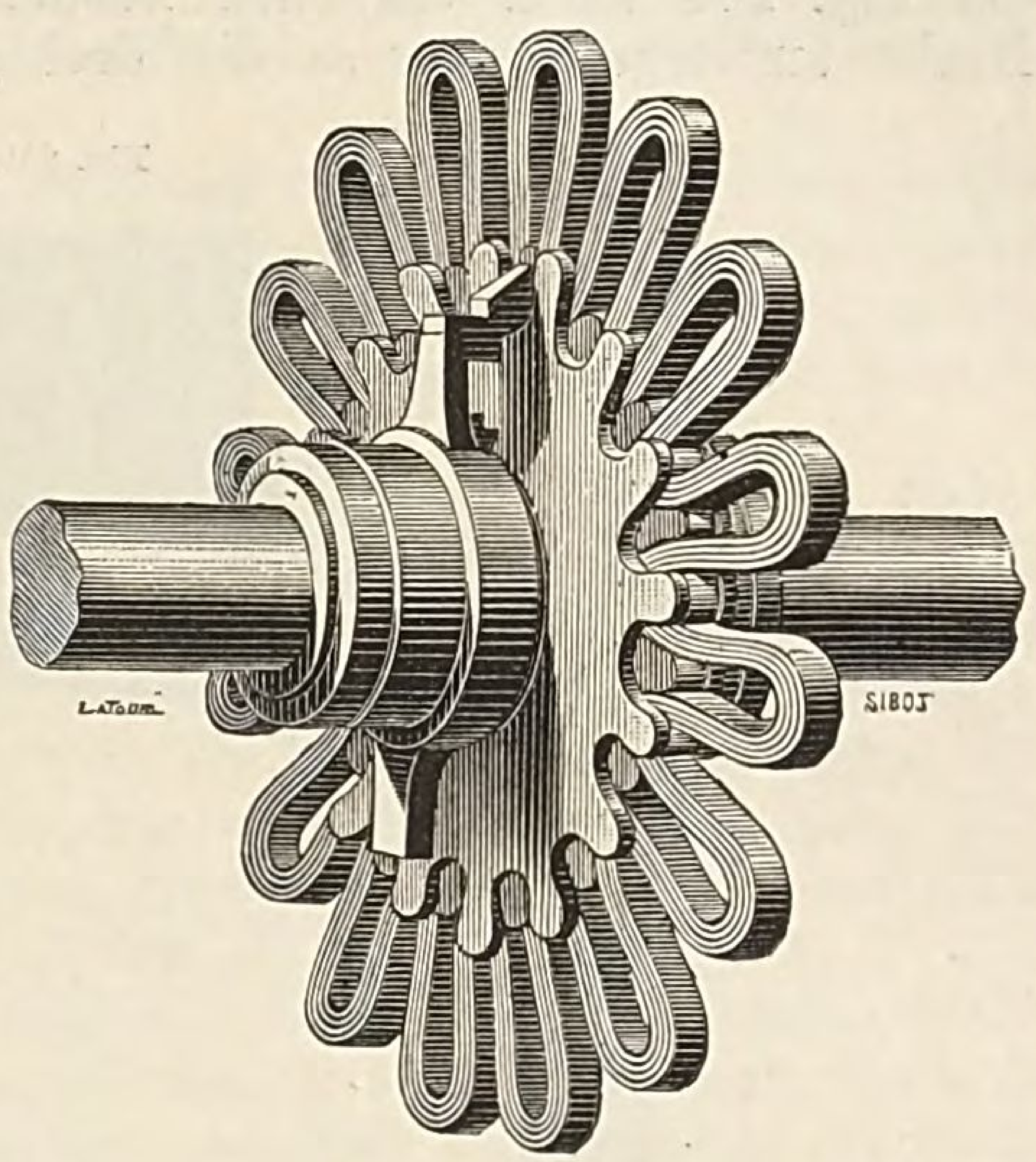
Fig. 202.



immer der innere Widerstand nur wenig grösser sein soll, als der äussere. Zu dem Ende sind die beweglichen Spulen dieser Maschine, von der die Figg. 201 und 202 eine Abbildung geben, nicht aus Draht-

rollen gebildet, sondern aus einer Reihe von breiten Kupferbändern zusammengesetzt, die nur geringen Widerstand haben. Die Elektromagnete, 32 an der Zahl, sind genau so angebracht, wie bei der Siemens'schen Maschine. Der Induktor aber besteht nicht aus einer Reihe von Rollen, sondern aus einer Reihe von über einander gelegten Kupferbändern, welche schleifenförmig gebogen sind, wie Fig. 203 es zeigt. Es sind halb so viel Schleifen vorhanden, wie Elektromagnetpaare, so dass, wenn das eine Stück einer Schleife sich einem Nordpol nähert, das nächste sich einem Südpol nähert und die entgegengesetzt gerichteten Induktionsströme sich durch den Verlauf der Bänder zu einem einzigen Strom zusammensetzen. Ist ein Streifen um die Breite eines Magneten vorgerückt, so hat der Strom die entgegengesetzte Richtung, ganz so wie bei der Siemens'schen Maschine.

Fig. 203 *).



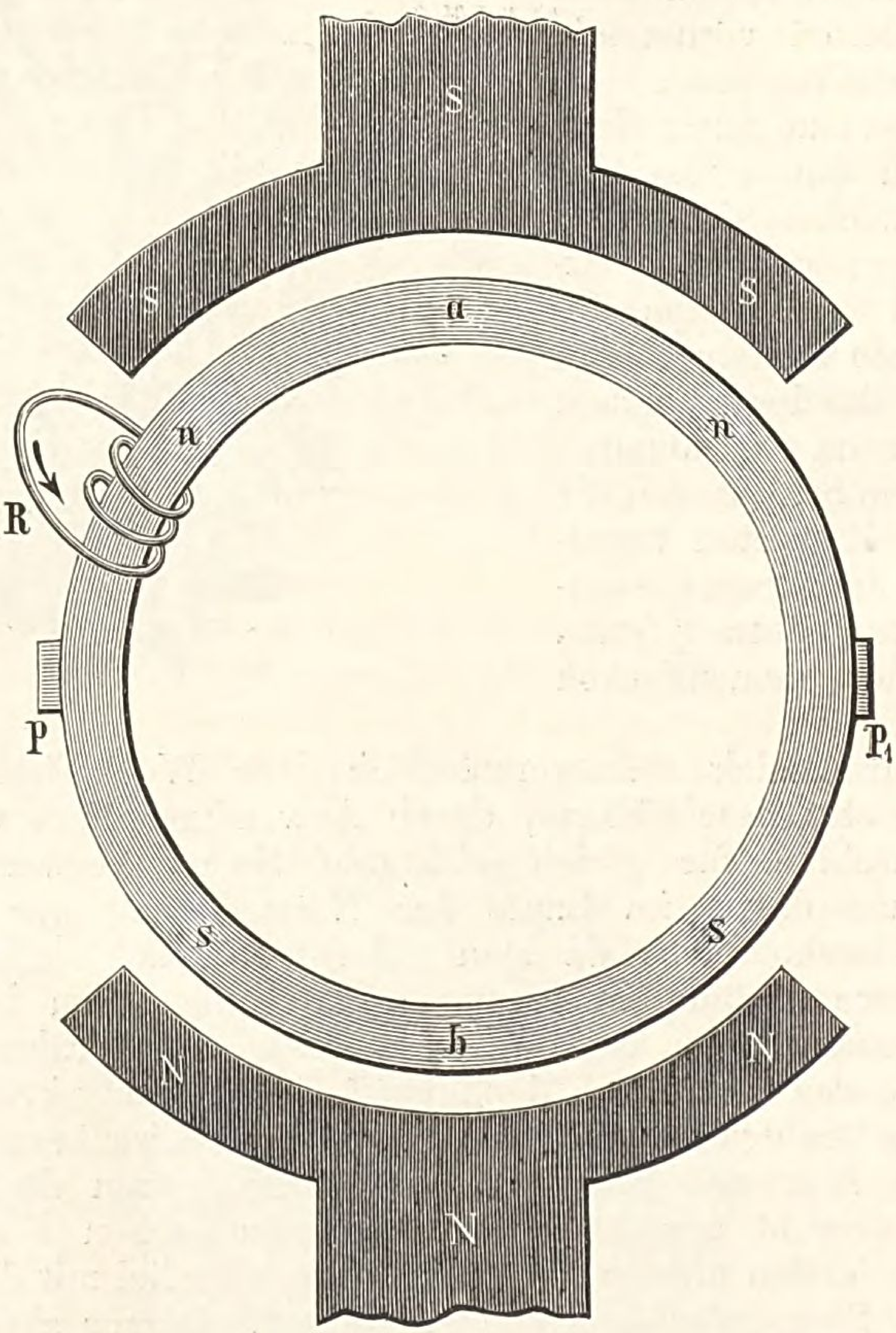
Es würde sich selbstverständlich jede Wechselstrommaschine, auch die zuletzt beschriebene, durch Anwendung eines Commutators in eine Maschine für gleichgerichteten Strom verwandeln lassen. Doch ist man davon im Laufe der Entwickelung der elektrischen Maschinen abgekommen, da man gelernt hat, auf einfachere Weise gleichgerichtete Ströme zu erzeugen. Bei allen den beschriebenen Wechselstrommaschinen bestand der Induktor aus Drahtrollen, deren Enden frei waren und durch den äusseren Schliessungskreis verbunden wurden. Die Drahtrollen wurden entweder ohne Eisenkern angewendet, meistentheils aber mit Eisenkern, und dann waren die Drahtspulen entweder senkrecht zur Längsaxe des cylindrischen Eisenkerns gewunden, wie in den älteren Maschinen, oder parallel mit der Längsaxe, wie bei dem Siemens'schen Cylinderinduktor. Immer aber war es ein offener Draht, der den Eisenkern umgab, ein Draht mit freien Enden.

Es war nun zuerst ein Italiener, Pacinotti, der die Induktionsströme in einem ganz anderen Induktor erzeugte und untersuchte. Pacinotti nahm nämlich als Eisenkern einen geschlossenen eisernen Ring und umwickelte diesen vollständig mit Draht. Die Enden dieses Drahtes löthete er an einander, so dass der Draht vollkommen geschlossen war und keine freien Enden mehr hatte. Ein solcher In-

*) Die Figg. 201, 202, 203 sind aus der Zeitschrift „La lumière électrique" mit Erlaubniss des Verlegers entnommen. Im Folgenden wird bei den betreffenden Figuren ein beigesetztes L. é. diese Quelle bezeichnen.

duktor, den man oft den Pacinotti'schen Ring, gewöhnlich aber den Gramme'schen Ring nennt, weil er durch Gramme erst allgemein bekannt wurde, ein solcher Induktor zeigt nun merkwürdige, aber leicht zu übersehende Erscheinungen, wenn man ihn vor den Polen eines Magneten rotiren lässt, Eigenschaften, die wir aus einer Betrachtung der Fig. 204 leicht erkennen können. Der Ring ist fortlaufend mit Draht umwickelt, wie es die drei gezeichneten Drahtwindungen R

Fig. 204.



zeigen, und befindet sich zwischen den Polen S und N eines kräftigen Hufeisenmagnets, der mit Polschuhen versehen ist, welche den Ring zum grössten Theil umfassen. In dem Ring von weichem Eisen wird durch den südmagnetischen Polschuh SS an den ihm gegenüberliegenden Stellen Nordmagnetismus nn inducirt, und durch den nordmagnetischen Polschuh NN entsprechend Südmagnetismus ss. Wenn der Ring rotirt, so kommen stets neue und neue Eisentheilchen gegenüber von NN und SS und stets werden an diesen Stellen die Pole s und n erzeugt. Ist der Ring von ganz weichem Eisen, so verliert jedes Theilchen seinen Magnetismus bald, sowie es aus der Nähe des in-

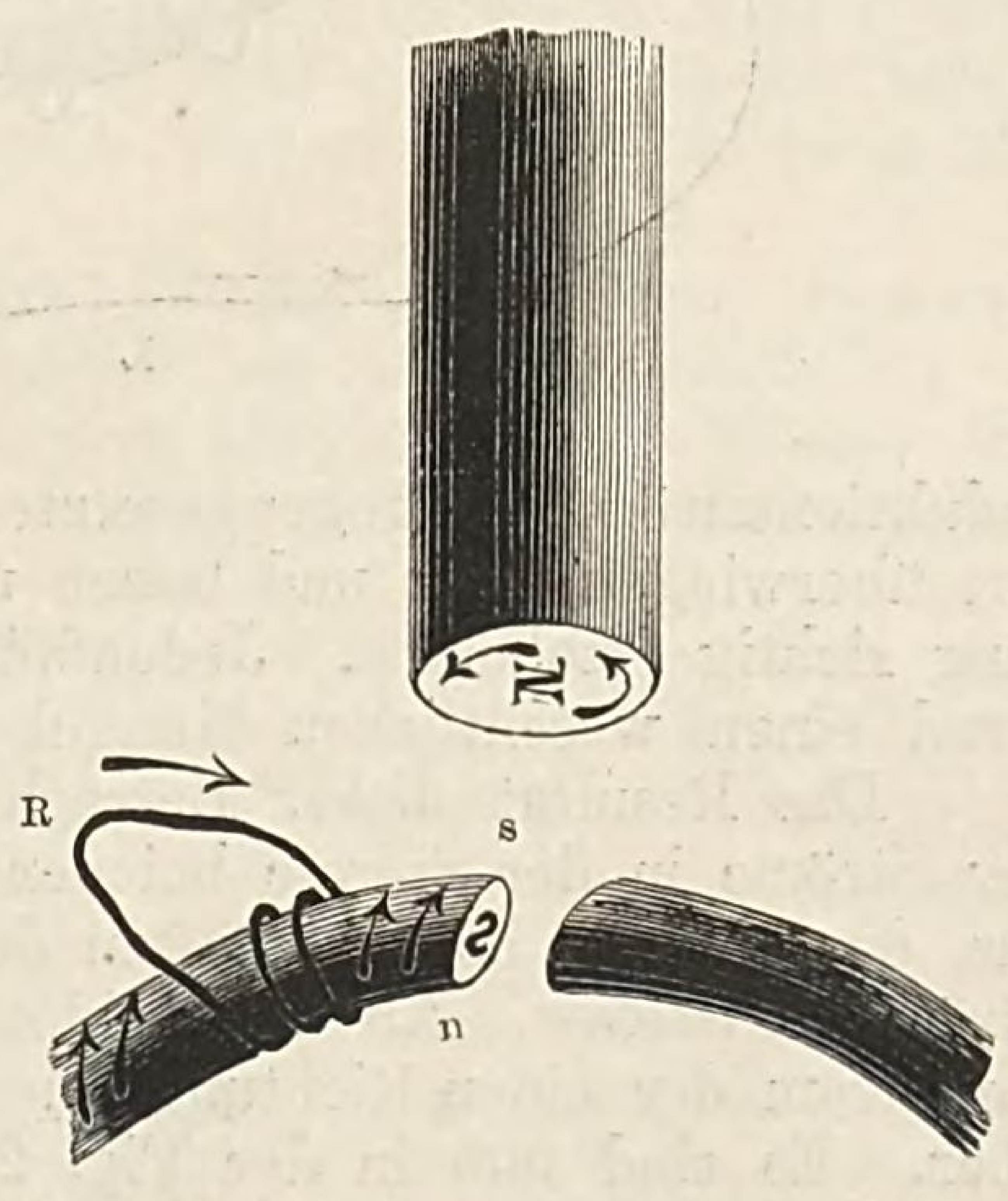
ducirenden Polschuhes sich entfernt hat. Es ist also stets dem Polschuh NN gegenüber der Ring südmagnetisch, dem Polschuh SS gegenüber nordmagnetisch. Dadurch dass der Eisenring rotirt, wird daran nichts geändert. Der Ring ist nun mit Draht fest umwickelt. Wir können daher die Erscheinungen auch vollkommen untersuchen, wenn wir annehmen, dass der eiserne Kern nicht rotirt, sondern ganz fest bleibt, und dass nur die Drahtwindungen um den Eisenkern herumlaufen.

In der beweglichen Rolle R entstehen nun Induktionsströme hauptsächlich durch die Induktionswirkung des magnetisch gewordenen Eisenringes, dann aber auch durch die direkte Wirkung der inducirenden Magnete NN und SS. Betrachten wir erst die Wirkung des magnetischen Eisenrings.

In der oberen Hälfte des Eisenringes von p bis p_1 ist Nordmagnetismus vorhanden, und zwar ist dieser am stärksten an der Stelle a, die der Mitte des Polschuhes gegenüberliegt. Wenn also die Spirale R sich von p an über die obere Hälfte des Ringes fortbewegt, so geht sie nur über nordmagnetische Punkte, folglich muss dabei die Richtung des in ihr inducirten Stromes stets die gleiche bleiben. Die Stärke des inducirten Stromes wird zunehmen, während R von p bis a geht, und dann wieder abnehmen, wenn R von a bis p_1 geht.

Ebenso muss der Induktionsstrom immer ein und dieselbe Richtung behalten, wenn R sich von p_1 über b nach p bewegt, denn R geht dabei ja immer über ein südmagnetisches Feld. Aber die Richtung des Induktionsstromes muss hier, auf der unteren Hälfte, die entgegengesetzte sein von der in der oberen Hälfte, da ja die Rolle sich eben einmal über Nordpole, das andere Mal über Südpole bewegt. In der Mitte zwischen den beiden Ringhälften, an den Stellen p und p_1, muss also der Strom seine Richtung ändern, d. h. wenn die Rolle an den Punkt p oder p_1 gekommen ist, so fliesst kein Strom in ihr.

Fig. 205.



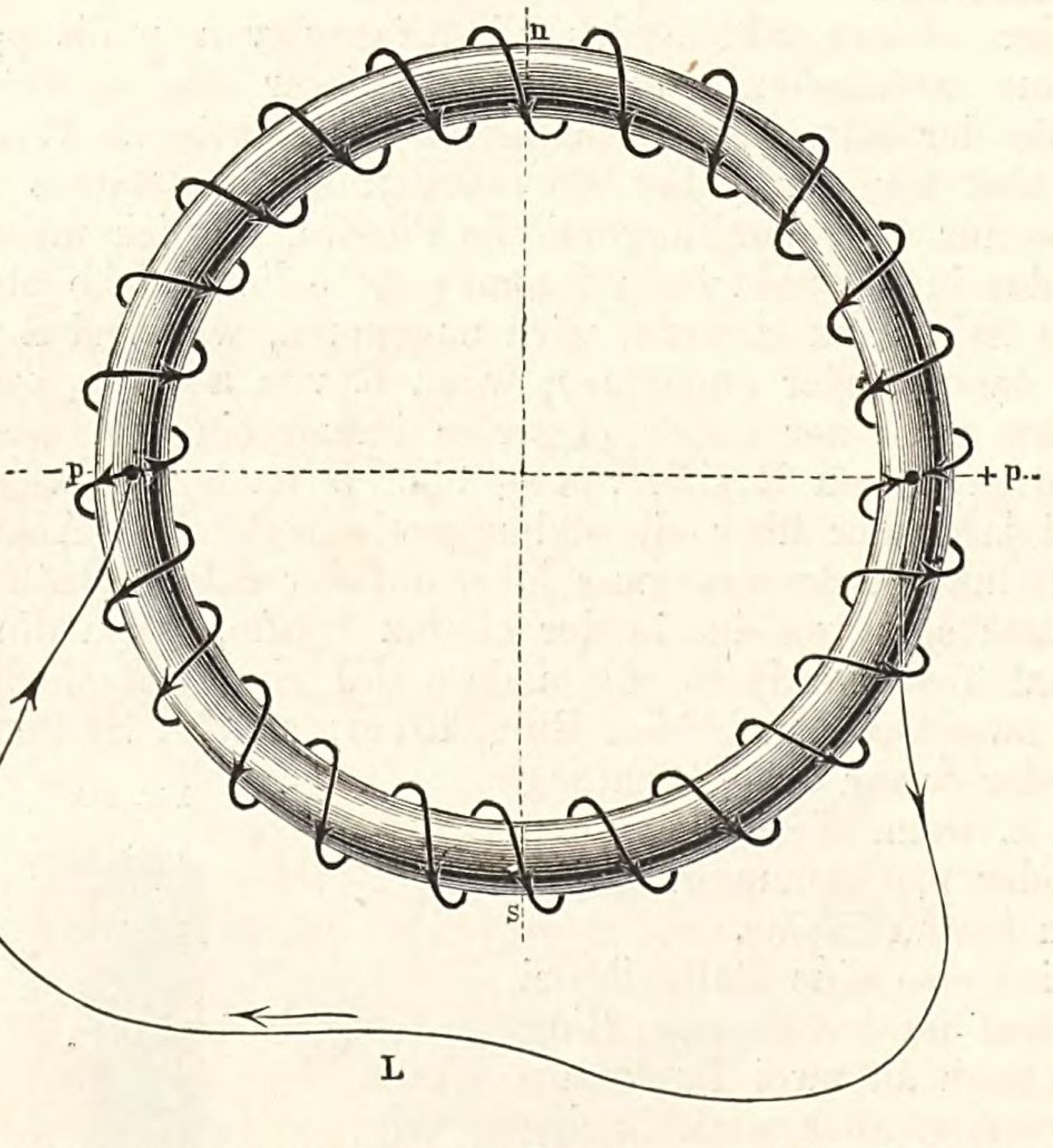
So wird also eine Rolle R bei ihrem Umlauf um den eisernen Ring der Reihe nach an zwei Punkten p und p_1 stromlos, aber sonst in den beiden Hälften des Ringes stets von Strömen durchflossen sein.

Ausser dieser inducirenden Wirkung des Ringes kommt aber noch die direkte Wirkung der Magnetpolschuhe N und S in Betracht, welche die Verhältnisse etwas complicirt, welche aber an sich von geringerer Bedeutung ist, als die Wirkung des Eisenrings, weil ja die Entfernung der Polschuhe von der Drahtrolle eine grössere ist.

Um diese Verhältnisse zu übersehen, braucht man nur die Fig. 205 zu betrachten, in welcher der Nordpol N des inducirenden Magnets und

ein Theil des Ringes gezeichnet ist. Wäre die durchgeschnittene Stelle des Ringes wirklich ganz und gar südmagnetisch, so würde der Magnet N die Induktionsströme des Ringes s einfach verstärken, weil ja die Rolle R dann in einem Felde von hoher magnetischer Intensität sich bewegen würde. Aber der Nordpol N inducirt den Eisenring in complicirterer Weise magnetisch. Es bildet sich an der ihm nächsten Stelle ein Südpol s und an der entfernteren ein Nordpol n. Daher bewegen sich zwar die oberen Theile der Drahtwindungen zwischen einem Nordpol und einem Südpol, wodurch starke Induktionswirkungen entstehen. Die unteren Theile der Drahtwindungen bewegen sich aber zugleich bei einem Nordpol vorüber und es entstehen daher in ihnen

Fig. 206.

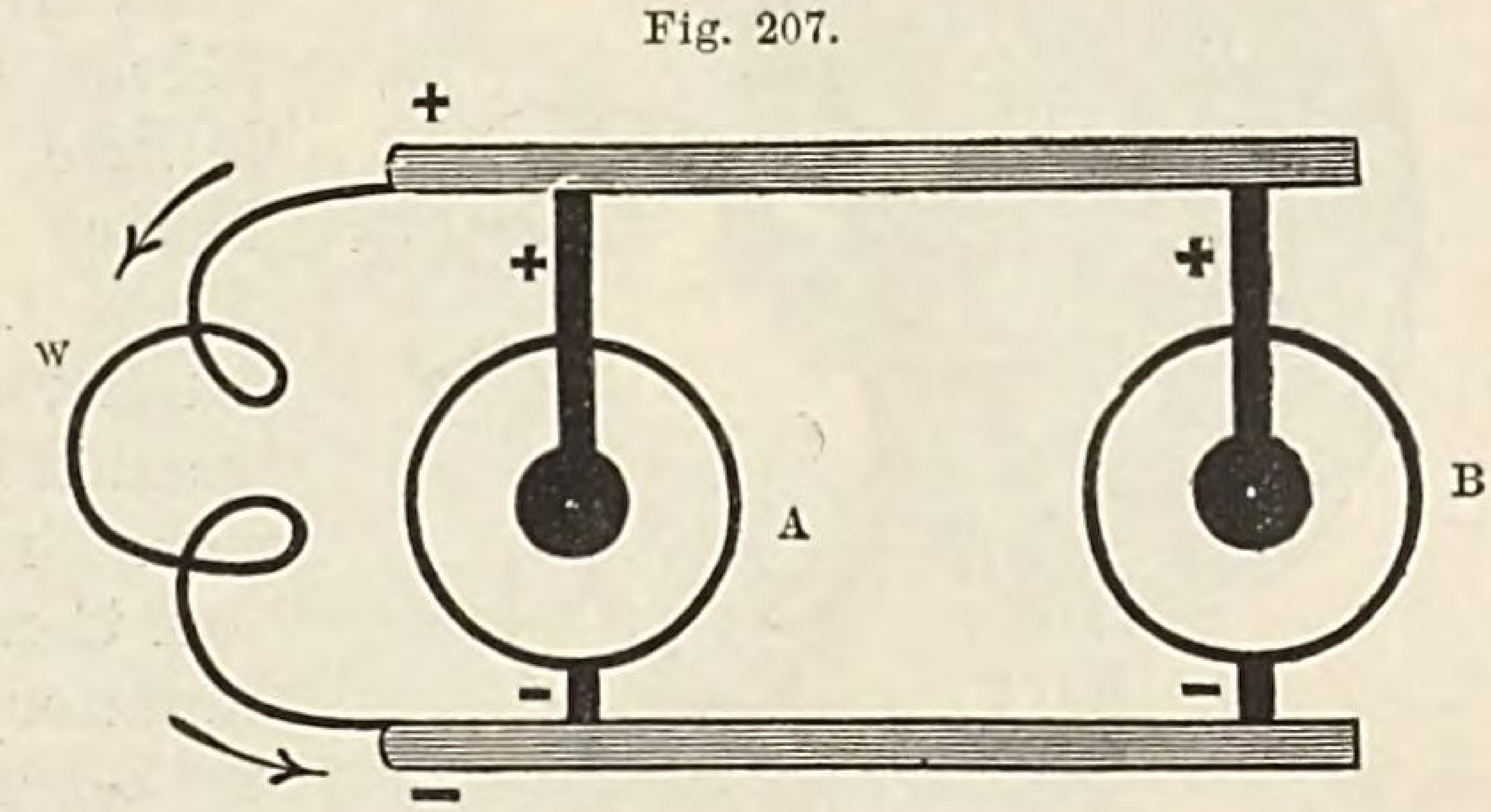


Induktionsströme entgegengesetzter Richtung. Die Wirkungen erster Art überwiegen zwar und lassen unsere ganze vorhergehende Betrachtung richtig erscheinen. Jedenfalls aber erkennt man in diesem Umstand einen wesentlichen Mangel der so erzeugten Induktionsströme.

Das Resultat dieser Betrachtungen, durch welche die Richtung der Ströme in der Spirale bei der Bewegung gefunden wurde, ist also das, dass in den beiden Hälften des Ringes entgegengesetzt gerichtete Ströme entstehen. An den beiden Stellen p und p_1 der Fig. 204 geht der Strom der einen Richtung durch Null in den der anderen Richtung über. Es sind nun in der Fig. 206 eine Reihe von Drahtwindungen gezeichnet, welche einen geschlossenen Kreis um den ganzen Ring bilden. Wenn diese ganze Drahtumwickelung um den Eisenring herumläuft, so haben die in der oberen Hälfte des Ringes inducirten Ströme

die entgegengesetzte Richtung, wie in der unteren. An den Stellen p und p_1 kommen diese entgegengesetzten Ströme zusammen. Da nun der Draht ein vollkommen geschlossener ist, so müssen sich diese entgegengesetzt gerichteten Ströme vollkommen aufheben, es fliesst in der Umwickelung des Ringes gar kein Strom. Man kann aber auch die Stellen p und p_1 so auffassen, wie aus der Figur deutlich wird, als ob von beiden Hälften des Ringes nach p_1 fortwährend positive Elektricität hinströmt, von p dagegen fortwährend positive wegströmt, oder, was dasselbe ist, negative hinströmt. Dann lassen sich die beiden Drahthälften auffassen als zwei galvanische Elemente, welche je an p ihren negativen Pol und an p_1 ihren positiven Pol haben. Verbindet man zwei gleiche galvanische Elemente so mit ihren gleichnamigen Polen, so heben sich die Ströme in ihnen auf. Man kann aber, wie es bei dem Nebeneinanderschalten von zwei Elementen geschieht, die beiden mit einander verbundenen positiven Pole und ebenso die beiden mit einander verbundenen negativen Pole zusammen durch einen äusseren Verbindungsdraht schliessen. Dann fliesst in dem äusseren Draht der Strom von dem einen Polpaar zum anderen. Eine solche Verbindung zeigt Fig. 207.

Fig. 207.



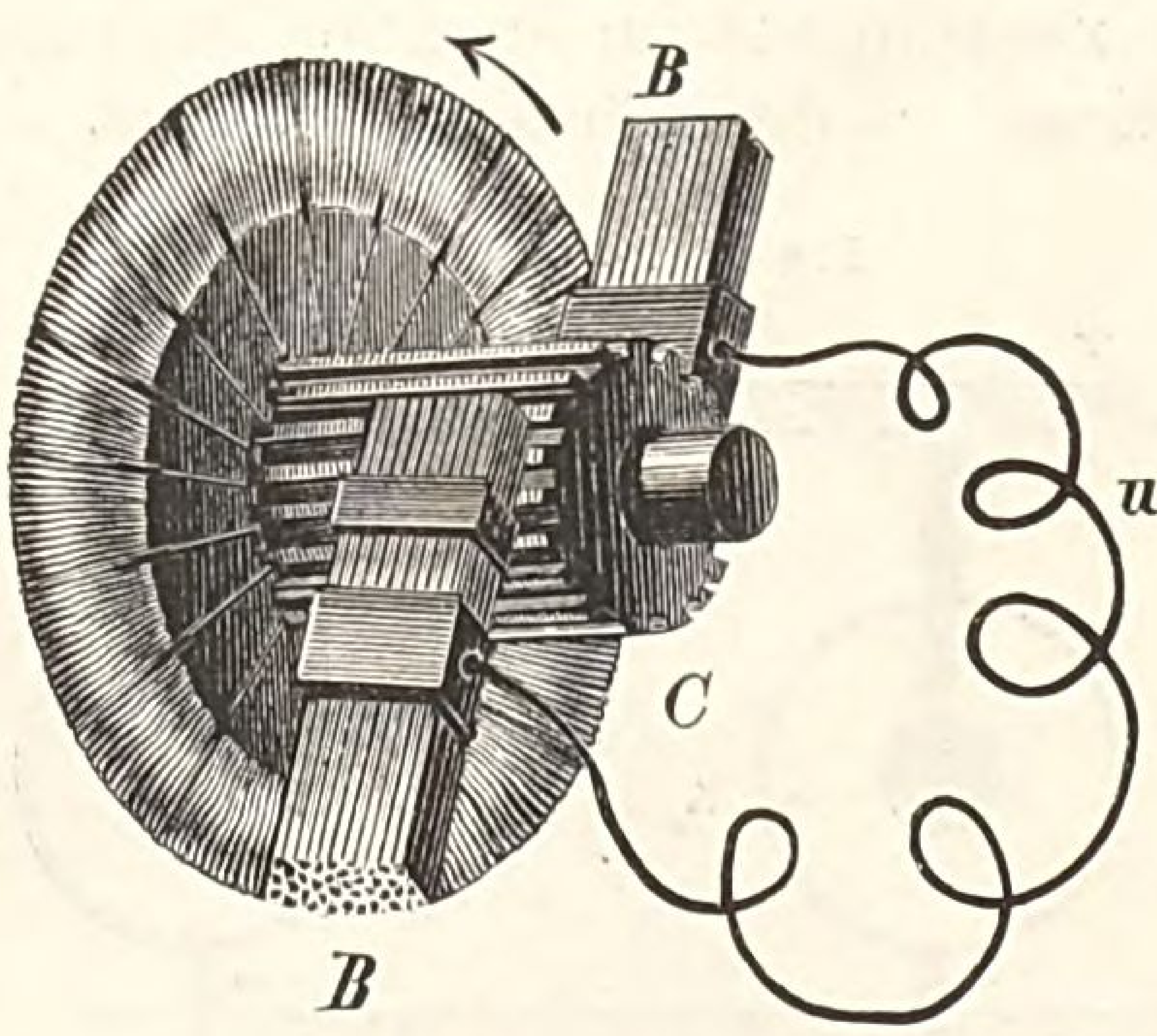
In dieser sind A und B die beiden gleichnamig verbundenen Elemente und w ist der äussere Schliessungskreis, in welchem also die Elektricität in der Richtung der Pfeile fliesst. Ganz dasselbe kann man bei dem Gramme'schen Ringe machen; sobald man die Stellen p und p_1 durch den äusseren Schliessungsdraht verbindet, fliesst der positive Strom fortwährend in diesem in der Richtung der Pfeile, wie es Fig. 206 angiebt.

So hat man also ein einfaches Mittel, um in dem äusseren Schliessungsdraht einen Strom von gleich bleibender Richtung zu erzeugen, ganz ohne Anwendung eines Commutators, einen Strom, der durch continuirliche Rotation eines mit Draht umwickelten Eisenringes entsteht.

Bei der wirklichen Ausführung eines solchen Ringes liess nun Gramme den Draht aus einer grossen Anzahl von einzelnen Drahtspulen bestehen, deren Enden er an die Axe führte und dort in Kupferstreifen ausgehen liess. Die Kupferstreifen sind dann alle von einander isolirt und ein jeder bildet die Verbindung zwischen dem Ende der einen und dem Anfang der benachbarten Spule. Es sind also ebenso viele Kupferstreifen vorhanden, wie einzelne Spulen, und die Spulen sind alle hinter einander verbunden, so dass sie eine vollständig gleichlaufende Umwickelung des Eisenringes bilden. An denjenigen beiden Kupferstreifen, welche den Stellen p und p_1 entsprechen, welche also senkrecht zu der Verbindungslinie der Magnete stehen, schleifen Federn,

welche von ihnen den Strom abnehmen und in die äussere Leitung senden. Es hätte natürlich principiell genügt, die Umwickelung nicht aus lauter Spulen bestehen zu lassen, die auf der Axe mit einander in Verbindung sind, sondern den Ring fortlaufend mit Draht zu umwickeln und nur von zwei diametral gegenüberliegenden Stellen aus Drähte an die Axe zu bringen und Federn auf ihnen schleifen zu lassen. Praktisch wäre aber dadurch ausser anderen Nachtheilen namentlich eine sehr lange Unterbrechung des Stromes entstanden. Nur nach einer halben Umdrehung des Ringes wäre wieder ein Strom in die äussere Leitung geschickt worden. Je mehr Spulen vorhanden sind, desto rascher folgen die einzelnen gleichgerichteten Ströme auf einander in die äussere Leitung, desto mehr macht also der Strom den Eindruck eines continuirlichen. Die Construktion des wirklichen Gramme'schen Ringes erhellt in Folge dessen aus Fig. 208, in welcher man den mit Draht umwickelten Ring sieht und zugleich erkennt, dass die Enden der einzelnen Spulen nach der Axe führen und dort in von einander isolirte Kupferstreifen münden. Diesen auf der Axe sitzenden Theil C, der aus einer Anzahl Kupferstreifen und dazwischen liegenden isolirenden Streifen besteht, nennt man oft fälschlicher Weise den Commutator. Es ist kein Commutator, da er den Strom nicht umkehrt. Zweckmässiger nennt man ihn Stromsammler oder Collektor. Auf diesem Stromsammler schleifen diametral einander gegenüber die beiden aus dünnen Drähten bestehenden Drahtbürsten BB, welche fest stehen und mit welchen der äussere Schliessungskreis w verbunden ist. In diesem fliesst dann der Strom fortwährend in gleichbleibender Richtung.

Fig. 208.

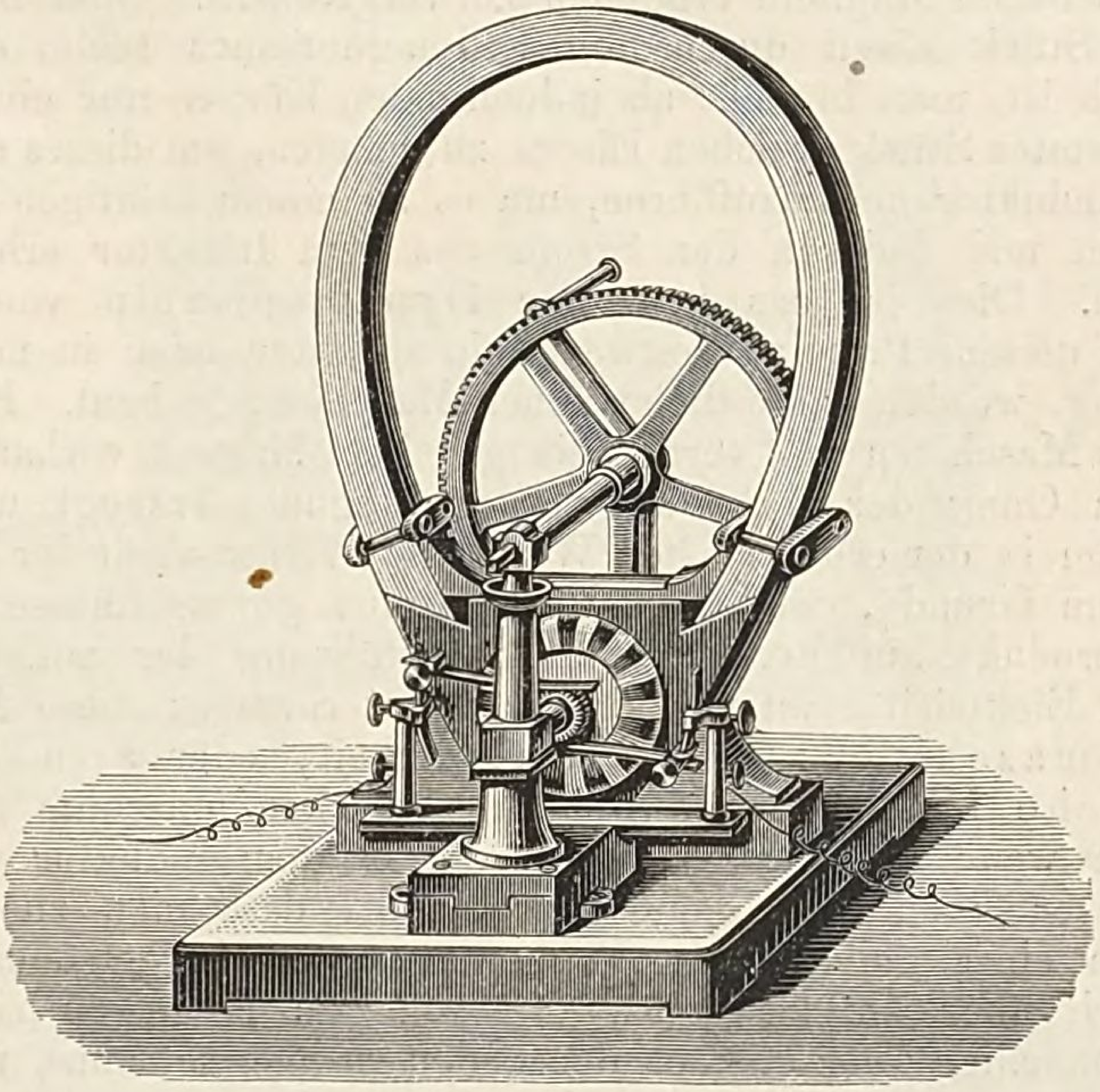


Wie aus der Beschreibung der Wirkung des Gramme'schen Ringes hervorgeht, würde es vollkommen genügen, den eisernen Ring (der übrigens nicht massiv ist, sondern aus vielen Eisendrähten besteht, damit er den Magnetismus leichter annimmt und verliert) feststehen zu lassen und nur die Umwindungen um diesen laufen zu lassen. Es ist eine solche Construktion auch versucht worden, jedoch hat sie sehr grosse constructive Schwierigkeiten in sich. Man lässt deshalb bei allen Maschinen den eisernen Ring selbst mit seinen Umwindungen rotiren. Dabei stellt sich aber heraus, wie wir aus den Entwickelungen auf S. 138 bereits wissen, dass die in einem Moment magnetisch gewordenen Stellen des Ringes nicht sofort ihren Magnetismus verlieren, wenn sie aus der Nähe der inducirenden Pole fortbewegt sind, sondern ihn noch eine Zeit lang behalten. Es verschieben sich dadurch die Indifferenzstellen des Ringes, an denen der Strom sich umkehrt, etwas in Richtung der Bewegung und man darf deshalb die Drahtbürsten nicht direkt senkrecht zur Verbindungsstelle der inducirenden Pole

stellen, sondern muss sie etwas in Richtung der Drehung verschieben. Wie weit sie zu verschieben sind, das hängt von der Natur des Eisens und von der Drehungsgeschwindigkeit ab, muss also in jedem Falle ausprobirt werden.

Durch Anwendung eines solchen Ringes als Induktor ist es also nun möglich, ganz ohne Benutzung eines Commutators Induktionsströme von constant bleibender, unveränderlicher Richtung zu erhalten. Man

Fig. 209.



braucht eben nur den Ring drehbar zwischen die Pole eines Hufeisenmagnetes zu bringen, um von den federnden Bürsten stets einen Strom von einerlei Richtung abnehmen zu können. Die einfachste Construktion einer solchen magnetelektrischen Maschine mit Gramme'schem Ring zeigt Fig. 209, in welcher ein hufeisenförmiger Stahlmagnet steht, zwischen dessen Polen der Ring sich befindet, der mittelst der Kurbel und Zahnradübertragung in sehr rasche Rotation versetzt werden kann.

Die Erfindung des Gramme'schen Ringes war eines der beiden wesentlichen Momente, welche den Aufschwung der Elektrotechnik hervorgerufen haben. Durch ihn war es möglich, constante Ströme ohne Stromverlust durch das Commutiren zu erzeugen.

Von ebenso bedeutender und principiell noch bedeutenderer Wichtigkeit war aber eine zweite Entdeckung, welche im Jahre 1867 von Werner Siemens gemacht wurde, nicht zufällig, sondern auf Grund tiefer physikalischer Erwägungen.

Es wurden alle Maschinen, die bis dahin construirt wurden, so gebaut, dass Stahlmagnete inducirend auf die Induktordrähte wirkten. Nun hat aber ein Stahlmagnet nur eine sehr beschränkte Stärke des

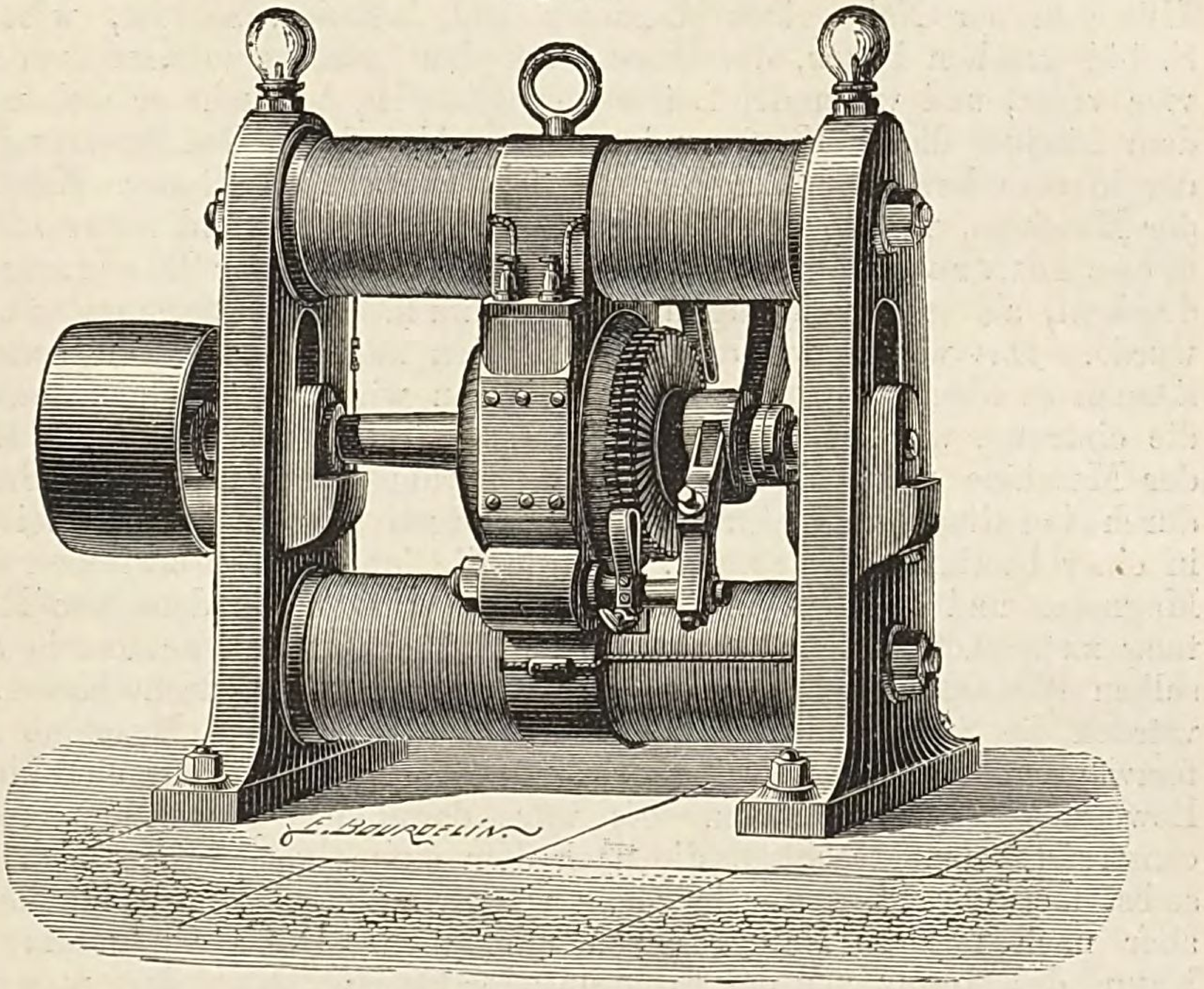
Magnetismus, während Elektromagnete bei derselben Eisenmenge durch den Strom einen ungleich stärkeren Magnetismus erhalten. Deswegen liess Wilde bei der oben (S. 219) beschriebenen Maschine den Strom auch in der That durch Elektromagnete induciren, wobei er die Elektromagnete durch eine kleine Hülfsmaschine erregte. Siemens dagegen ging einen wesentlichen Schritt weiter. Er sagte sich, dass, wenn einmal in einem Induktor ein Strom erzeugt sei, man diesen ja blos in Spiralwindungen um die Magnete passend herumzuführen braucht, um die Stärke dieser Magnete erheblich zu vergrössern. Oder noch mehr, da jedes Stück Eisen durch den Erdmagnetismus schon ein wenig magnetisch ist, man braucht als inducirenden Körper nur ein hufeisenartig geformtes Stück weichen Eisens zu nehmen, um dieses den Strom aus dem Induktor herumzuführen, um es zu einem kräftigen Magneten zu machen und dadurch den Strom aus dem Induktor erheblich zu verstärken. Dies ist das berühmte Dynamoprincip von Siemens und nach diesem Princip, entweder in direkter oder in modificirter Anwendung, werden sämmtliche neuen Maschinen gebaut. Es ist also bei diesen Maschinen von vornherein gar kein Magnet vorhanden; erst durch den Gang der Maschine werden Magnete erzeugt und beeinflussen dann in der erheblichsten Weise die Wirksamkeit der Maschine. Aus diesem Grunde, weil der Magnetismus gewissermassen nur als Zwischenprodukt auftritt, um die Ueberführung der aufgewendeten Arbeit in Elektricität zu vermitteln, nennt Siemens diese Maschinen Dynamomaschinen, von δύναμις, Arbeit, oder auch dynamoelektrische Maschinen. Bei einer solchen Maschine muss also zuerst ein wenn auch schwacher Strom in dem Induktor vorhanden sein. Diesen kann man dadurch erzeugen, dass man zuerst durch den Strom eines galvanischen Elementes etwas Magnetismus erzeugt. Gewöhnlich aber enthält selbst das weichste Eisen an sich schon etwas remanenten Magnetismus durch den Erdmagnetismus, und dieser genügt, um zuerst einen schwachen Strom in dem Induktor zu erzeugen. Dieser fliesst nun um die Eisenkerne in passender Richtung, macht sie also zu, wenn auch schwachen, Magneten, und wird nun dadurch selbst wieder verstärkt. So verstärkt der Strom fortwährend den Magnetismus, der Magnetismus fortwährend den Strom, bis schliesslich die Magnete zum Maximum magnetisirt sind und so die höchste Wirksamkeit der Maschine erreicht ist.

Der erste nun, der diese beiden wesentlichen Principien, den Gramme'schen Ring und das Siemens'sche Dynamoprincip zur Construktion einer Maschine benutzte, war Gramme, und seine Maschinen sind so ausgezeichnet gebaut, dass sie auch jetzt noch, trotz der vielen kleinen Verbesserungen, die unterdess ausgedacht wurden, zu den allerbesten und leistungsfähigsten Maschinen gehören.

Die Hauptform einer Gramme'schen Maschine ist durch Fig. 210 gekennzeichnet. Man sieht in dieser Figur in der Mitte auf einer Axe sitzend den Gramme'schen Ring, welcher rechts den Stromsammler trägt. Auf diesem schleifen vorn und hinten die beiden Bürsten. Rechts und links von dem Ringe stehen die Elektromagnete. Jeder besteht aus zwei horizontal gestellten Eisenschenkeln, welche durch die

eiserne Seitenplatte der Maschine zu einem Hufeisenmagnet verbunden sind. Es stehen sich die Nordpole (z. B. oben) und ebenso die Südpole (unten) gegenüber und die gleichnamigen Pole sind durch starke Eisenanker verbunden, die Polschuhe, welche kreisförmig ausgeschnitten sind und den Ring zwischen sich aufnehmen. Der Strom geht nun z. B. von der vorderen Bürste (in welche er aus dem Ring gelangt ist) nach dem rechts liegenden Elektromagneten, umfliesst dessen unteren und oberen Schenkel und kommt dann in die vorn oben sitzende rechte Klemmschraube. Zu gleicher Zeit geht der Strom von der hinteren Bürste um die links liegenden Magnetschenkel herum

Fig. 210.



und kommt dann in die andere obere Klemmschraube. In diese beiden Schrauben wird dann der äussere Leitungskreis, durch den man den Strom schicken will, eingeklemmt; die beiden Polschuhe oben und unten sind natürlich nicht durch Eisen verbunden, wie man nach der Figur glauben könnte, sondern durch Messing. Denn sonst wäre der Magnet geschlossen und würde eine viel geringere Wirkung nach aussen ausüben.

Eine Vorstellung von den Dimensionen einer solchen Dynamomaschine wird man dadurch erhalten, dass die in Fig. 210 gezeichnete Maschine 0,60 Meter hoch, 0,35 Meter breit und 0,65 Meter lang ist und 180 Kilo wiegt. Ihre Drähte sind aus Kupfer und zwar enthalten die Elektromagnetwindungen 28 Kilo Kupfer, der Ring 4,5 Kilo Kupfer in allerdings sehr vielen und dünnen Windungen. Der Ring

macht etwa 1000—1500 Touren in der Minute. Der Widerstand des Rings dieser Maschine ist 1,2 Ohm, der der Elektromagnete 1 Ohm.

Bevor wir die modificirten Maschinen kennen lernen, welche aus der Gramme'schen Maschine allmählich hervorgingen, ist es zuerst nothwendig, einige allgemeine Verhältnisse der Dynamomaschinen zu erörtern.

In einer vollständig geschlossenen Maschine entsteht, wenn man den Ring mit der Hand oder durch eine Maschine dreht, in diesem, in den Drähten der Magnete und in der äusseren Leitung ein continuirlicher Strom. Wenn aber ein von einem Strom durchflossener Leiter in der Nähe eines Magneten sich befindet, so übt, wie wir S. 144 gesehen haben, der Magnet auf den Leiter eine Kraft aus und vice versa, und wenn der Leiter beweglich ist, so sucht er sich unter dem Einfluss dieser Kraft zu bewegen. Also durch den Strom selbst, der in dem bewegten Ring erzeugt ist, entsteht eine innere Kraft in der Maschine, welche den Ring zu bewegen sucht. Und zwar sucht diese innere Kraft den Ring in umgekehrter Richtung zu drehen, als er zur Erzeugung des in ihm fliessenden Stromes gedreht wurde. Das wissen wir aus den früheren allgemeinen Erörterungen, können es aber auch leicht einsehen, wenn wir an die Folgen denken, die eintreten würden, wenn es nicht so wäre. Drehen wir den Ring der Maschine z. B. ein wenig rechts herum, dann fliesst ein Strom durch den Ring, die Elektromagnetwindungen und die äussere Leitung in einer bestimmten Richtung. Würde die innere Kraft zwischen dem Magneten und dem Strom im Ringe diesen selbst in derselben Richtung zu drehen suchen, so würde der Ring sich von selbst in derselben Richtung weiter drehen, in welcher wir ihn gedreht haben, es würden die Ströme fortwährend weiter fliessen und die Maschine sich fortwährend von selbst weiter drehen, während wir ihr nur eine kleine Bewegung gegeben haben. Es wäre damit das perpetuum mobile construirt, eine Maschine, die nach dem einmaligen Anstoss sich von selbst fortwährend weiter bewegen würde. Ein perpetuum mobile ist aber nach unseren Naturgesetzen unmöglich. Das Grundgesetz der Natur, das Gesetz von der Erhaltung der Energie, sagt, dass man von keiner Maschine mehr Arbeit gewinnen kann, als man in sie hineingegeben hat, es zeigt also direkt die Unmöglichkeit des perpetuum mobile. Daraus folgt, dass die innere Kraft, welche die Magnete auf den Strom im Ringe ausüben, den Ring rückwärts zu drehen sucht, entgegengesetzt der Bewegung, welche wir von aussen dem Ringe ertheilen. Diese innere Kraft ist also eine Widerstandskraft; dadurch, dass in der Maschine der Strom fliesst, stemmt sich eine Kraft der Bewegung des Ringes entgegen und wir müssen fortwährend von Neuem Arbeit aufwenden, um diesen Widerstand zu überwinden. Es wird also direkt mechanische Arbeit mittelst dieser magnetelektrischen oder dynamoelektrischen Maschinen in Elektricität verwandelt. Dass zur Erzeugung von elektrischen Strömen in solchen Maschinen Arbeit, und erhebliche Arbeit, aufzuwenden nothwendig ist, kann man auch durch direkte Versuche an jeder Maschine sofort erkennen. So lange die

Enden der Drähte nicht durch einen Draht geschlossen sind, so dass kein Strom fliessen kann, lässt sich die Maschine ziemlich leicht in Bewegung setzen und halten. Sowie aber der Stromkreis geschlossen wird, so dass also die Ströme und dadurch die innere Widerstandskraft entstehen, geht die Maschine sehr schwer und man muss erhebliche Arbeit aufwenden, um sie zu drehen.

Betrachten wir weiter die Stärke der Ströme und ihre elektromotorische Kraft.

Dabei ergiebt sich ein wesentlicher Unterschied zwischen magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen.

Bei einer magnetelektrischen Maschine haben die Stahlmagnete ein für alle mal eine bestimmte unveränderliche Stärke. Die elektromotorische Kraft, die durch Drehung in dem Ring entsteht, hängt direkt von der Stärke der Magnete ab; je stärker diese sind, desto grösser ist auch die elektromotorische Kraft. Sie hängt ferner davon ab, wie der Eisenkern des Ringes gegen die wirksamsten, magnetischen Stellen der Pole liegt. Je näher der Ring diesen ist, je besser und kräftiger er magnetisch inducirt wird, desto stärker sind die entstehenden Induktionsströme. Ferner hängt die elektromotorische Kraft ab von der Drehungsgeschwindigkeit des Rings. Je rascher der Ring sich dreht, in um so kürzerer Zeit werden die Induktionsströme inducirt, um so grösser ist ihre elektromotorische Kraft. Bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen ist die elektromotorische Kraft einer solchen Maschine direkt proportional der Tourenzahl des Ringes (in einer Minute z. B.). Endlich hängt die elektromotorische Kraft noch wesentlich ab von der Zahl der Windungen auf dem Eisenkern und von ihrer Lage gegen die inducirenden Pole. Die elektromotorische Kraft wächst direkt mit der Anzahl der Windungen auf dem Induktor. Ein Ring, der mit 1000 Windungen versehen ist, giebt unter sonst gleichen Umständen, eine 1000mal so grosse elektromotorische Kraft wie ein Ring, der nur mit einer Windung belegt wäre. Bei jeder magnetelektrischen Maschine erhält also während der Drehung die eine Drahtbürste positive Elektricität, die andere negative. Diese beiden Bürsten entsprechen ganz den Polen eines galvanischen Elements. Wenn man die eine Bürste mit einem Elektrometer in Verbindung setzt, während die Maschine sich bewegt, aber der Stromkreis nicht geschlossen ist, so erhält man einen Ausschlag der Elektrometernadel, welcher zeigt, dass freie Elektricität auf der Bürste vorhanden ist, z. B. positive. Von der anderen Bürste erhält man einen Ausschlag, welcher ihre negative Elektricität anzeigt. Werden die beiden Bürsten, die beiden Pole der magnetelektrischen Maschine, durch den äusseren Schliessungsdraht verbunden, so fliessen durch den ganzen Drahtkreis fortwährend die elektrischen Ströme. Die Intensität dieses Stromes ist, wie jede Intensität, zu berechnen nach dem Ohm'schen Gesetz:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{elektromotorische Kraft}}{\text{Gesammtwiderstand}}.$$

Der Gesammtwiderstand des Stromkreises setzt sich zusammen aus dem inneren Widerstand der Maschine und dem äusseren Widerstand des Schliessungskreises. Der innere Widerstand bei der magnetelektrischen

Maschine ist nur der Widerstand der Drahtwindungen des Ringes. Je mehr solche Drahtwindungen vorhanden sind, desto grösser ist auch der innere Widerstand, desto grösser ist aber auch die elektromotorische Kraft. Ist der äussere Widerstand gering, z. B. ein kurzer dicker Draht, oder eine sehr breite und kurze Flüssigkeitszelle, so braucht man keine grosse elektromotorische Kraft, um diesen Widerstand zu überwinden. Es kann dann der Ring mit wenigen Umwindungen versehen sein und diese sind zweckmässig aus dickem Draht anzufertigen, damit auch der innere Widerstand der Maschine ein kleiner ist. Ist dagegen der äussere Widerstand ein sehr grosser, etwa eine Reihe von hinter einander geschalteten elektrischen Lampen, so muss man eine grosse Menge von Umwindungen auf dem Induktor haben, damit die elektromotorische Kraft gross wird und den äusseren Widerstand überwinden kann. Ist der äussere Widerstand sehr gross, dann kommt es auch nicht darauf an, dass der innere Widerstand der Maschine durch die vielen Umwindungen ein erheblicher wird. Ueberhaupt ergiebt sich durch eine mathematische Betrachtung, dass bei einem gegebenen äusseren Widerstand der innere Widerstand der Maschine am besten so gross zu wählen ist, dass er gleich dem äusseren ist. In diesem Falle ist dann die Stromstärke im ganzen Schliessungskreis ein Maximum. In der Praxis zeigt es sich nothwendig, den inneren Widerstand der Maschine kleiner zu machen als den äusseren, damit die Erwärmung der inneren Drähte nicht zu gross wird.

Bei einer magnetelektrischen Maschine hängt also die elektromotorische Kraft nur ab von der Stärke der Stahlmagnete, der Tourenzahl und der Umwindungszahl des Induktors, gar nicht vom äusseren Widerstand. Die Stromstärke in dem ganzen Kreise hängt aber natürlich von dem äusseren Widerstand ab.

Ganz anders ist es bei den Dynamomaschinen, bei denen der Strom der Maschine selbst erst die Magnete erregt. In diesen hängt die Stärke der Magnete ab von der Stärke des in der ganzen Leitung fliessenden Stromes, also auch von dem äusseren Widerstand. Von der Stärke der Magnete hängt aber wieder die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes ab. Bei den Dynamomaschinen hängt also die elektromotorische Kraft wesentlich ab von der Grösse des äusseren Widerstands, bei jeder Aenderung des äusseren Widerstands ändert sich auch die elektromotorische Kraft der Maschine. Wird z. B. der äussere Widerstand grösser, so wird zuerst die Stromstärke kleiner, dadurch werden die Magnete schwächer und dadurch wird wieder die elektromotorische Kraft kleiner. Und diese bewirkt für sich dann wieder eine Aenderung der Stromstärke in dem ganzen Kreise. Also die Dynamomaschinen sind sehr empfindlich gegen Aenderungen des Widerstandes im äusseren Schliessungskreis.

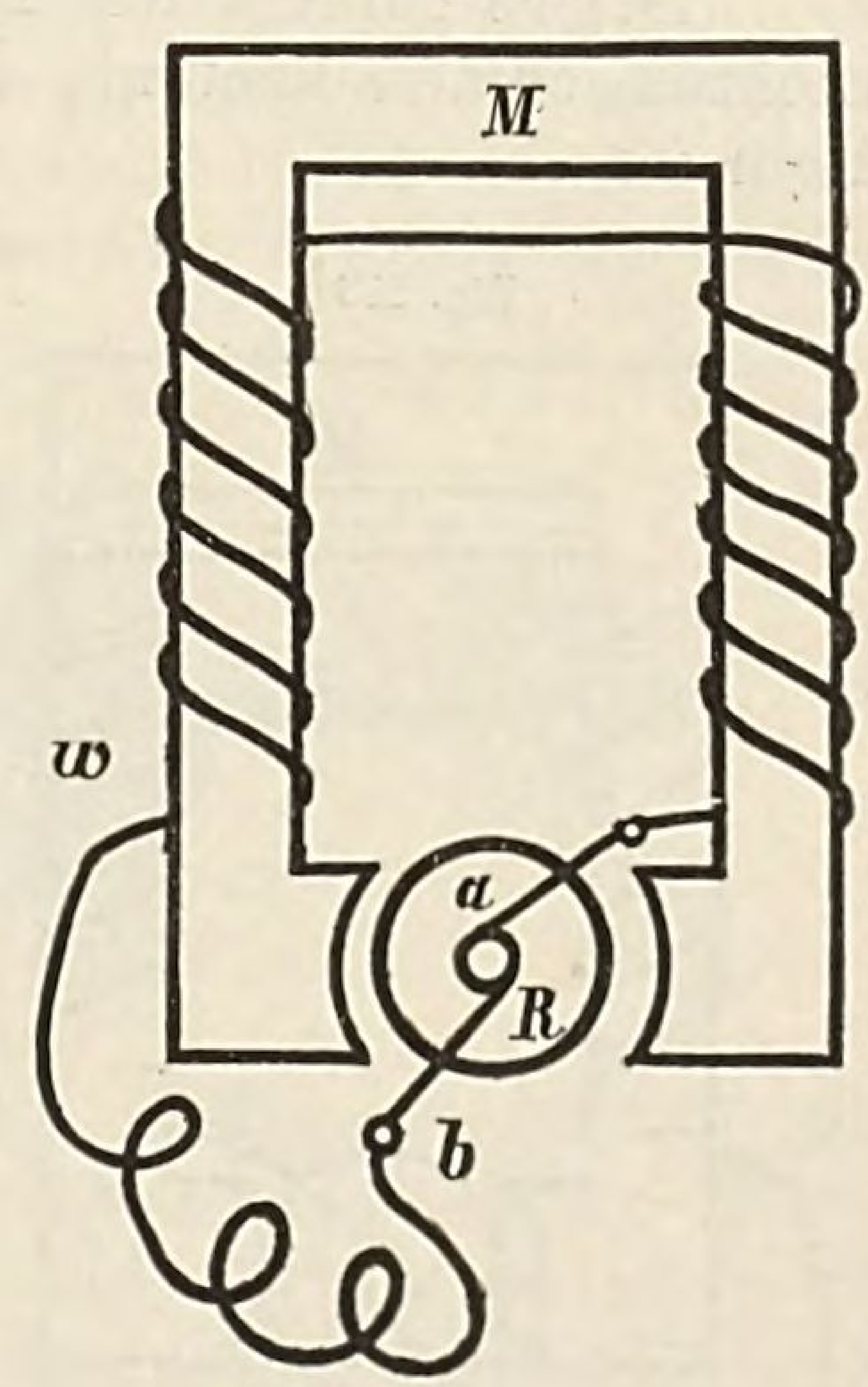
Ist eine Dynamomaschine ungeschlossen, so mag sie noch so rasch gedreht werden, es entsteht in ihr keine elektromotorische Kraft, abgesehen von der geringen elektromotorischen Kraft, die von dem remanenten Magnetismus der Elektromagnete herrührt. Denn so lange die Maschine ungeschlossen ist, fliesst kein Strom, folglich werden die Elektromagnete auch nicht erregt und daher kein Induktionsstrom er-

zeugt. Es zeigt sich also auch an den Polen keine freie Elektricität. Ferner erkennt man aus dem Obigen, dass eine gegebene Dynamomaschine einen sehr viel stärkeren Strom liefern muss, wenn der äussere Widerstand klein, als wenn er gross ist. Die Stärke des Stromes nimmt nicht blos im umgekehrten Verhältniss des Widerstandes zu, sondern viel rascher, weil Intensität und elektromotorische Kraft, beide von dem Widerstande abhängen. Ferner ist noch folgender Unterschied zwischen einer magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschine von grosser Bedeutung. Bei einer geschlossenen magnetelektrischen Maschine besteht der gesammte Widerstand allein aus dem Widerstand des Induktors und dem Widerstand des äusseren Schliessungskreises. Bei einer dynamoelektrischen Maschine aber kommt zu diesen noch der Widerstand der Drähte um die Elektromagnete hinzu, ein Widerstand, der immer ziemlich erheblich sein muss, weil die Stärke der Elektromagnete direkt mit der Zahl der Umwindungen zunimmt. Also der Widerstand in einer Dynamomaschine ist an sich schon ein grösserer als in einer magnetelektrischen Maschine unter sonst gleichen Verhältnissen.

Die Dynamomaschine gestattet aber eine gewisse Reihe von Modifikationen in der Anwendung des Dynamoprincips, und dadurch lassen sich auch die eben erwähnten Uebelstände vermeiden.

Es wurde bisher nämlich angenommen (und die Gramme'sche Maschine, die oben beschrieben wurde, zeigt dies auch in der That), dass der Induktor der Maschine, die Magnete und der äussere Schliessungskreis hinter einander geschaltet sind, so dass also das Schema der Dynamomaschine so aussieht, wie es Fig. 211 zeigt. Dann fliesst der Strom der Reihe nach von den Drähten des Ringes R durch die Bürste a um die Windungen der beiden Elektromagnetschenkel M herum, dann durch den äusseren Schliessungskreis w und durch die Bürste b in den Ring zurück. Induktor, Elektromagnet, äusserer Schliessungsdraht bilden also einen einzigen Stromkreis; es kommt bei der Stromstärke ihr Gesammtwiderstand in Betracht und jede Aenderung des Widerstandes beeinflusst die Stromstärke in doppelter Weise, wie oben ausgeführt ist.

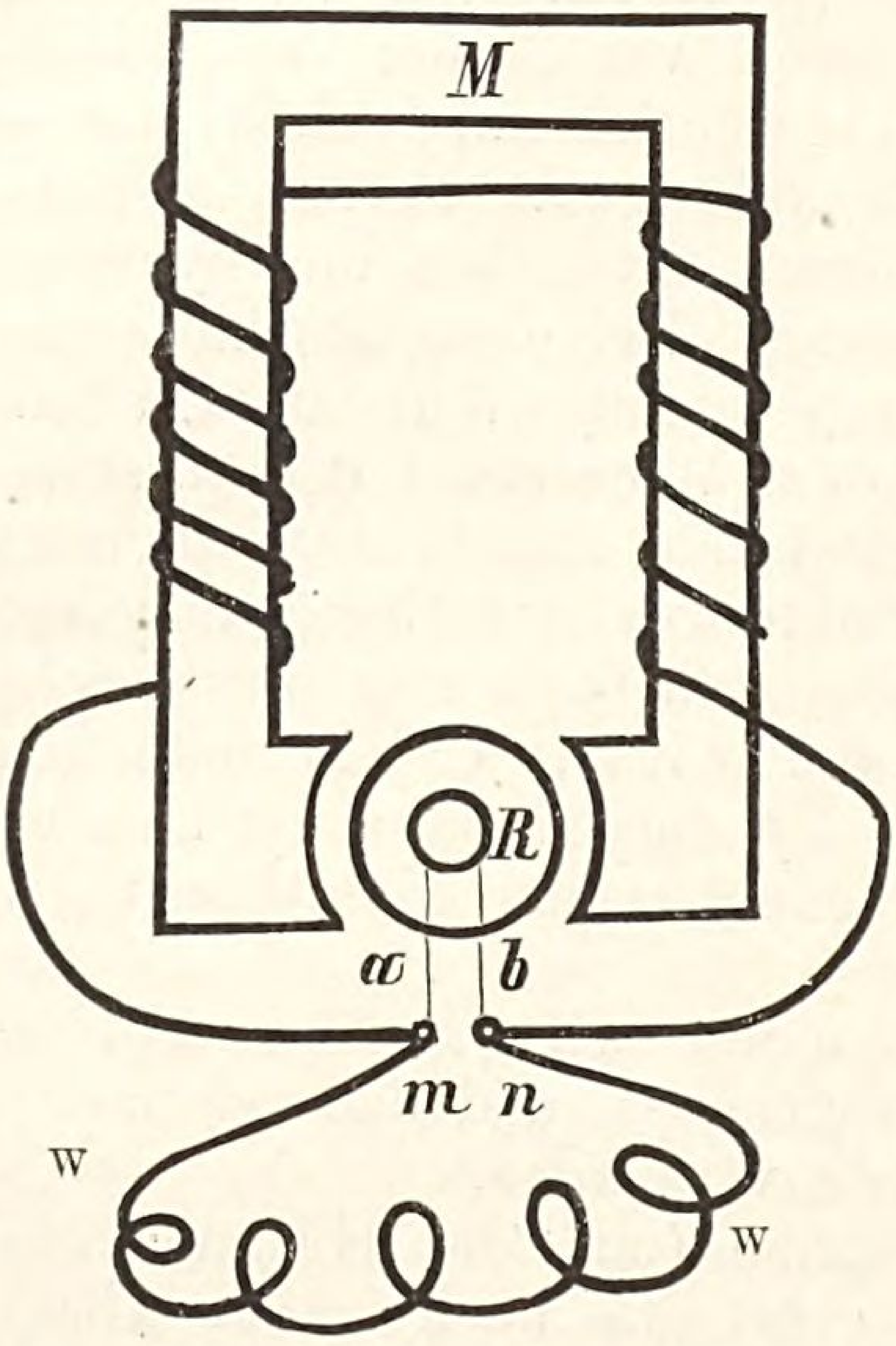
Fig. 211.



Man kann aber auch den Strom, der von dem Induktorring kommt, direkt in die äussere Leitung führen und um die Magnete herum nur einen Zweigstrom senden. Eine solche Anordnung zeigt das Schema in Fig. 212. Hier theilt sich der Strom, der durch die Bürsten a und b aus dem Ringe R kommt, bei m und n und geht zum Theil durch den äusseren Schliessungskreis w, zum Theil aber um die Magnete M. Die Stromstärken in den beiden Zweigen w und M verhalten sich umgekehrt

wie ihre Widerstände. Diese Anordnung ist also namentlich von Vortheil, wenn der äussere Leitungskreis w einen sehr geringen Widerstand hat. Denn dann ist der Hauptstrom, der aus der Maschine kommt, sehr stark, folglich ist auch der Strom, der um die Magnete fliesst, ein erheblicher, wenn er auch wegen des grossen Widerstands derselben schwächer ist als der Strom in w. Die Awendung dieser Schaltung ist deswegen oft von Vortheil, weil die Magnete schon bei bestimmten, nicht zu hohen Stromstärken bis zum Maximum magnetisirt werden und es in Folge dessen nutzlos und daher schädlich ist, den gesammten starken Strom um die Magnete zu senden. Wenn aber der äussere Widerstand sehr gross ist, so dass der Strom an sich schon schwach ist, so wäre die Nebenschaltung der Magnete von Nachtheil, weil dann die Magnete noch schwächer erregt würden und der Strom daher noch schwächer würde, als bei der Hintereinanderschaltung.

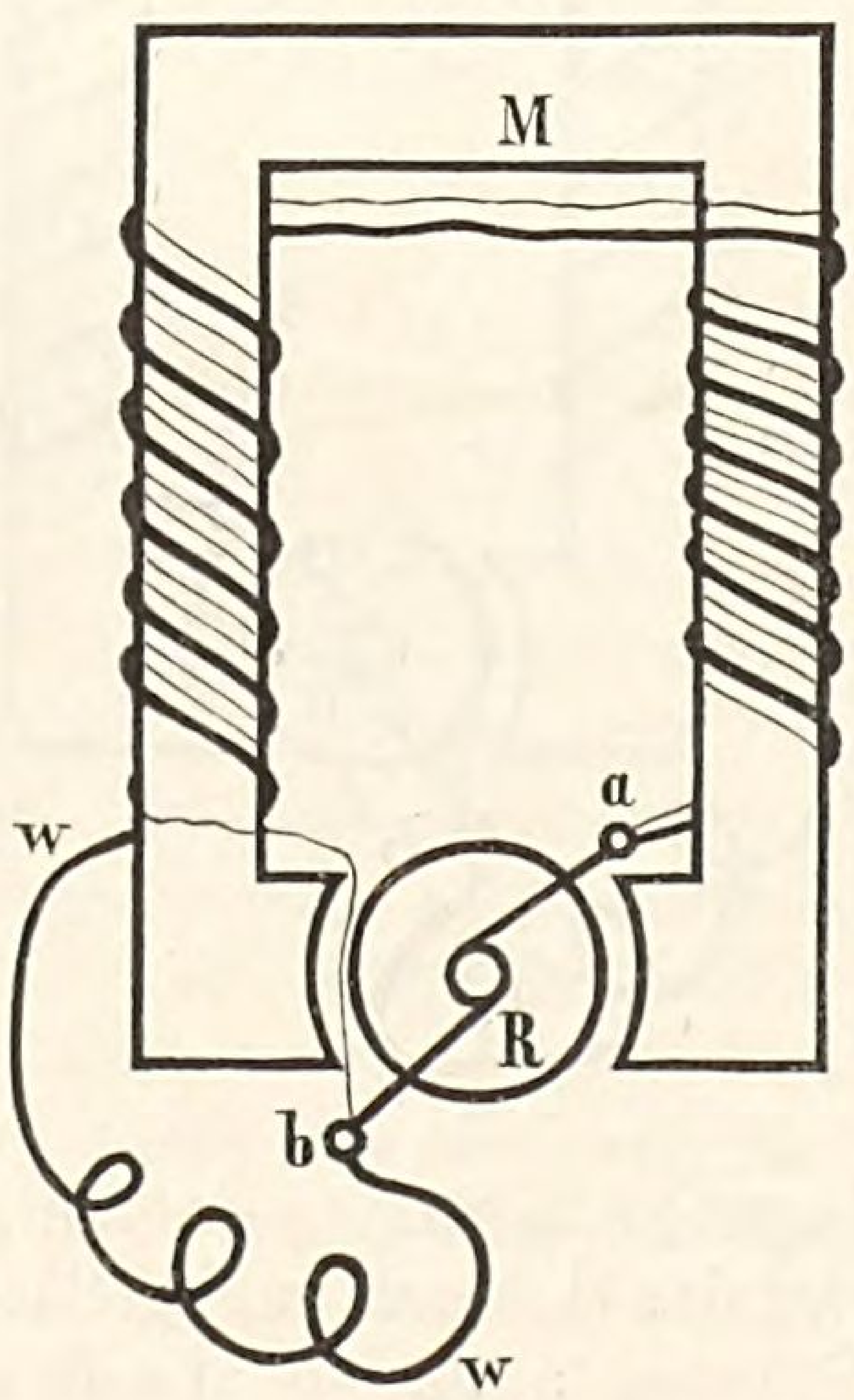
Fig. 212.



Dieses Princip der Nebenschaltung ist z. B. bei den Edison'schen Lichtmaschinen benutzt, bei denen der äussere Widerstand stets sehr klein ist.

Eine dritte Schaltung, die seit Kurzem in besonderen Fällen mit grossem Vortheil angewendet wird, ist die sogenannte gemischte Schaltung. Diese besteht darin, dass man die Magnete sowohl durch den Hauptstrom, als durch einen Zweigstrom erregen lässt. So gebaute Maschinen nennt man Compoundmaschinen. Ihr Schema ist in Fig. 213 gezeichnet. Von dem Ring R geht durch die Bürsten der Hauptstrom (stark gezeichnet) um die Magnete M und durch den äusseren Widerstand w; ausserdem aber zweigt sich bei a und b der schwach gezeichnete Nebenstrom ab und fliesst in vielen Windungen allein um die Magnete. Welchen Vortheil diese Schaltung gewährt, wird später klar werden.

Fig. 213.



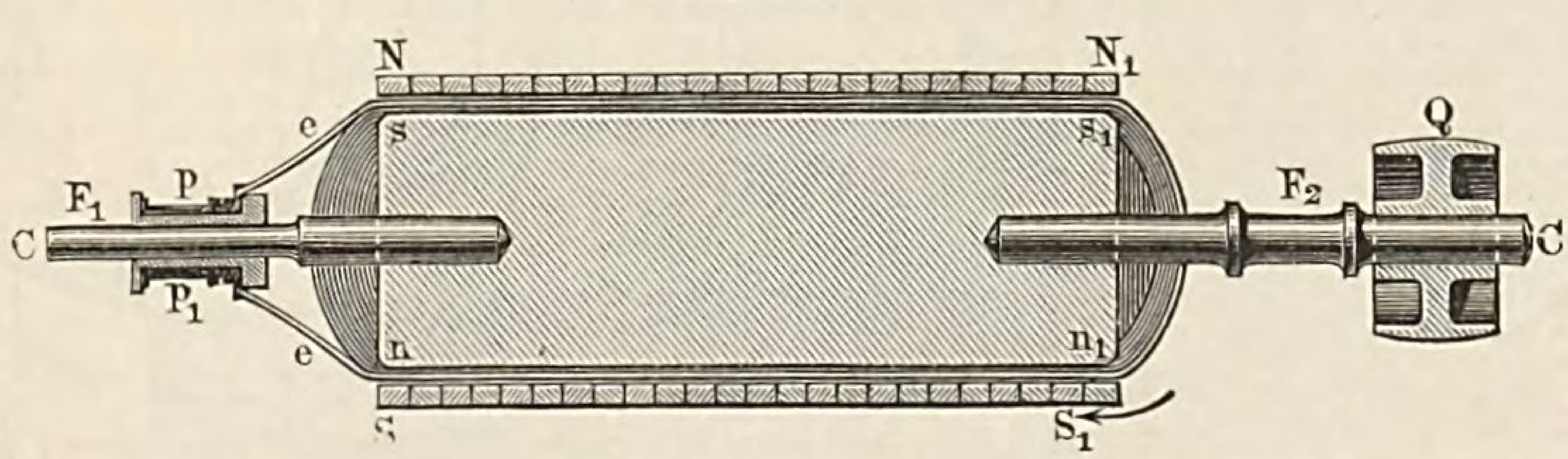
Selbstverständlich kann man auch die Magnete einer Gramme'schen Maschine nicht durch ihren eigenen Strom, sondern durch den Strom einer andern Maschine erregen lassen. Dann ist die Maschine aber keine dynamoelektrische Maschine mehr, sondern eine

magnetelektrische mit Elektromagneten. Man kann auch, was auf dasselbe herauskommt, den Eisenring mit zwei ganz von einander getrennten Drahtkreisen umwickeln und den Strom von dem einen Drahtkreis um die Elektromagnete führen, den von dem anderen Drahtkreis durch die äussere Leitung senden. Dann hat eine Aenderung des Widerstandes in dem äusseren Stromkreis nur die eine Wirkung auf die Stromintensität, welche sich aus dem Ohm'schen Gesetze ergiebt, aber sie beeinflusst gar nicht die Stärke der Magnete.

Nach der Erfindung des Gramme'schen Ringes suchte man andere Formen des Induktors zu ersinnen, durch welche man ebenfalls ohne Anwendung von Commutatoren gleichgerichtete Ströme erhalten könne. Bisher sind es nur drei Formen von Induktoren, welche dieses leisten, und daher auch nur drei Typen von Maschinen, welche als grundlegend zu bezeichnen sind, nämlich ausser dem Gramme'schen Ring der Hefner'sche Trommelinduktor und der Brush-Induktor. Wir werden daher jetzt zuerst die Siemens'sche Maschine mit der Hefner'schen Trommel und die Brush-Maschine mit ihrem eigenthümlichen Induktor besprechen, um dann die wesentlichsten Detailänderungen an diesen drei Grundformen zu entwickeln, wie sie sich bisher als zweckmässig erwiesen haben.

Der Induktor, welchen Hefner-Alteneck construirte und der bei den Maschinen von Siemens allein benutzt wird, ist nicht ringförmig, sondern cylinderförmig und wird Trommelinduktor genannt. Auch bei ihm wird der Draht, wie bei dem Gramme'schen Ring, in zwei Hälften neben einander geschaltet. Dem äusseren Ansehen nach besteht er aus einem Eisencylinder, welcher der Länge nach mit Draht umwickelt ist und dicht zwischen den Polen einer Reihe von Magneten oder eines sehr breiten Magneten rotirt. In Fig. 214 ist ein solcher

Fig. 214.



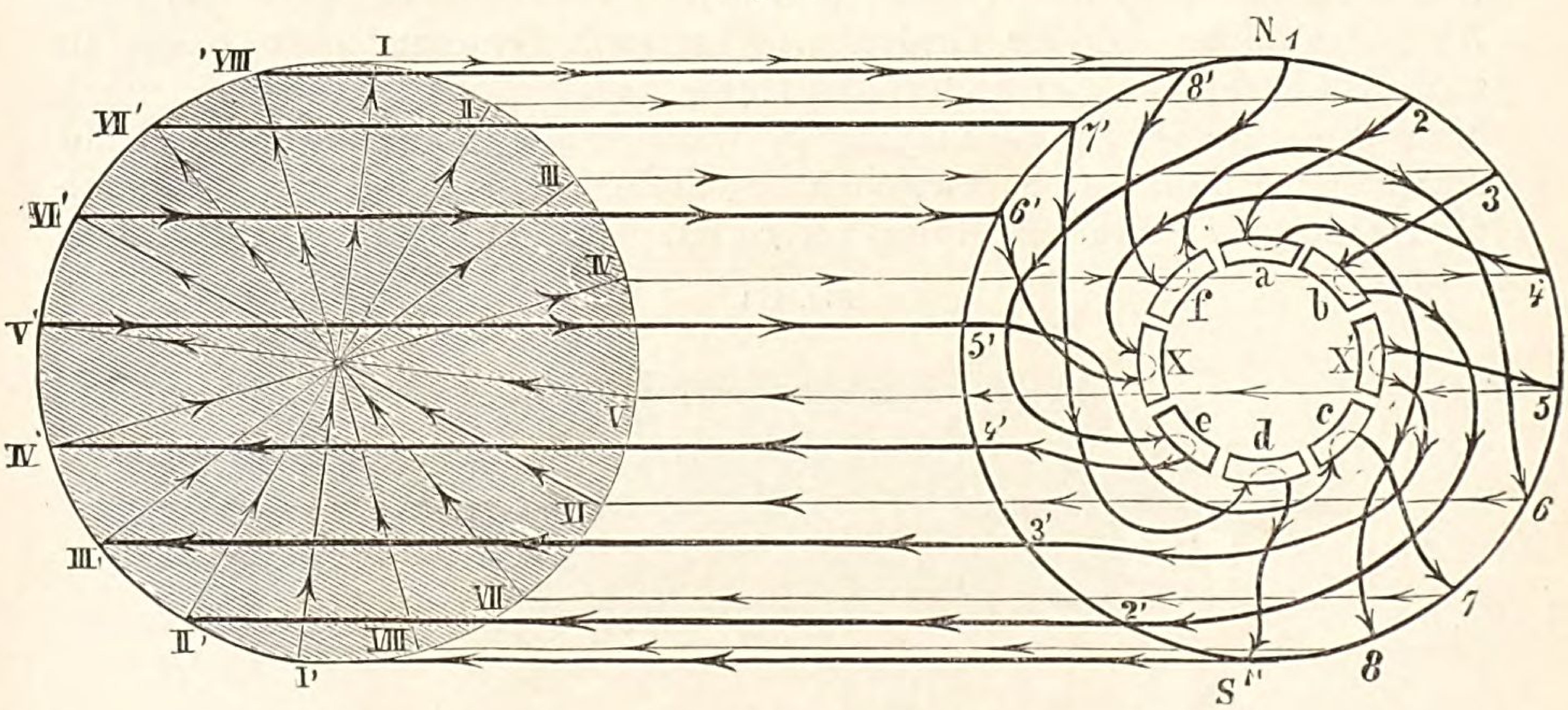
Trommelinduktor der Lage nach gezeichnet. Es sind darin $N N_1$ die Nordpole der inducirenden Magnete, $S S_1$ die Südpole. Der Eisencylinder, welcher auf der Axe $F_1 F_2$ sitzt und der Länge nach mit Draht umwickelt ist, erhält also den Nordpolen gegenüber Südpole $s s_1$ und den Südpolen gegenüber Nordpole $n n_1$, so dass bei der Drehung die Drähte sich in sehr engen, daher intensiven magnetischen Feldern bewegen. Die Umwickelung des Cylinders besteht nun ebenfalls wie beim Gramme'schen Ringe aus einer Reihe von Drahtspulen, welche aber mit einander in einer originellen Art verbunden sind. Nehmen wir z. B. einen einzigen Draht, welcher um den Cylinder herumgelegt ist, z. B. den Draht e e der Fig. 214. Bei der Bewegung entsteht in

der oberen Hälfte des Drahtes ein Stromimpuls, der z. B. nach rechts geht, in der unteren Hälfte der entgegengesetzte, nach links, und da der Draht zusammenhängend ist, so addiren sich diese Impulse, und in dem Draht, wenn er geschlossen wäre, würde ein Strom von bestimmter Richtung cirkuliren. Hat sich aber dieser Draht um einen halben Kreis weiter bewegt, so hat sich der Strom umgekehrt, wie wir es ja schon bei der Betrachtung des Siemens'schen Doppel-T-Ankers gefunden haben. Die Indifferenzstellen, an denen sich der Strom umkehrt, befinden sich um einen Viertelkreis von den Magnetpolen entfernt.

Wenn nun auf dem Cylinder eine ganze Reihe von Drähten aufgewunden sind, so wird in jeder Stellung in allen oberen Drahthälften der Strom z. B. zur Axe F_1 hinfliessen und in allen unteren Drahthälften von ihr fort. Wenn man nun für jeden Draht ein isolirtes Kupferstück auf der Axe befestigt und die Drähte alle in zwei Hälften so zusammenfasst, dass in der einen Hälfte der Strom zur Axe hin, in der andern von ihr fortfliesst, dann kann man ebenso wie beim Grammeschen Ring an den Indifferenzstellen den Strom aus beiden Hälften nach aussen ableiten, während, wenn die Hälften mit einander direkt verbunden wären, die Ströme sich aufheben würden.

Um eine Vorstellung davon zu geben, wie bei der Hefner'schen Trommel die Drähte verbunden sind, betrachten wir in Fig. 215 die

Fig. 215.



Trommel, auf welcher 8 Drähte angeordnet sind. Die eine Reihe von Drahtenden ist mit den Zahlen 1, 2 . . . 8, die andere mit 1', 2' . . . 8' bezeichnet. Auf der Axe der Trommel sitzen 8 Kupferstücke a b x' c d e x f, welche den Stromsammler bilden. Wir denken uns auf der oberen Seite des Cylinders in seiner Längsrichtung den inducirenden Nordpol N, auf der unteren den inducirenden Südpol S. Dann wird stets die obere Hälfte des Eisenkerns südmagnetisch, die untere nordmagnetisch. Es fliessen also immer auf der oberen Hälfte alle Ströme den Cylinder entlang von links nach rechts, auf der unteren von rechts nach links. Man erkennt aus der Figur den Verlauf der Ströme bei

der angegebenen Stellung der Trommel durch die Richtung der Pfeile. Bei jeder Stellung giebt es immer zwei einander diametral gegenüberstehende Collektorstücke, zu denen zwei gleichgerichtete Ströme hinführen, resp. von denen sie ausgehen. In der Figur sind es gerade die Stellen x x′. Bei einer Achtelumdrehung sind z. B. die Stücke b und e in diese Stellung gekommen. Dann nehmen die Bürsten von diesen den Strom ab, und so kann man dieses Verfahren auf die Verbindung beliebig vieler Spulen anwenden. Bei dieser Anordung scheinen die einzelnen Drahtenden ganz unsymmetrisch mit einander verbunden zu sein, wenigstens ist die Symmetrie aus dieser Figur nicht leicht zu erkennen. Dass doch ein bestimmtes Gesetz und daher eine gewisse Symmetrie bei der Wickelung der Hefner'schen Trommel herrscht, erkennt man am leichtesten aus der Fig. 216, in welcher die einzelnen Kreise 1 1′, 2 2′ u. s. w. die Drahtenden bezeichnen und die ausgezogenen Linien

Fig. 216.

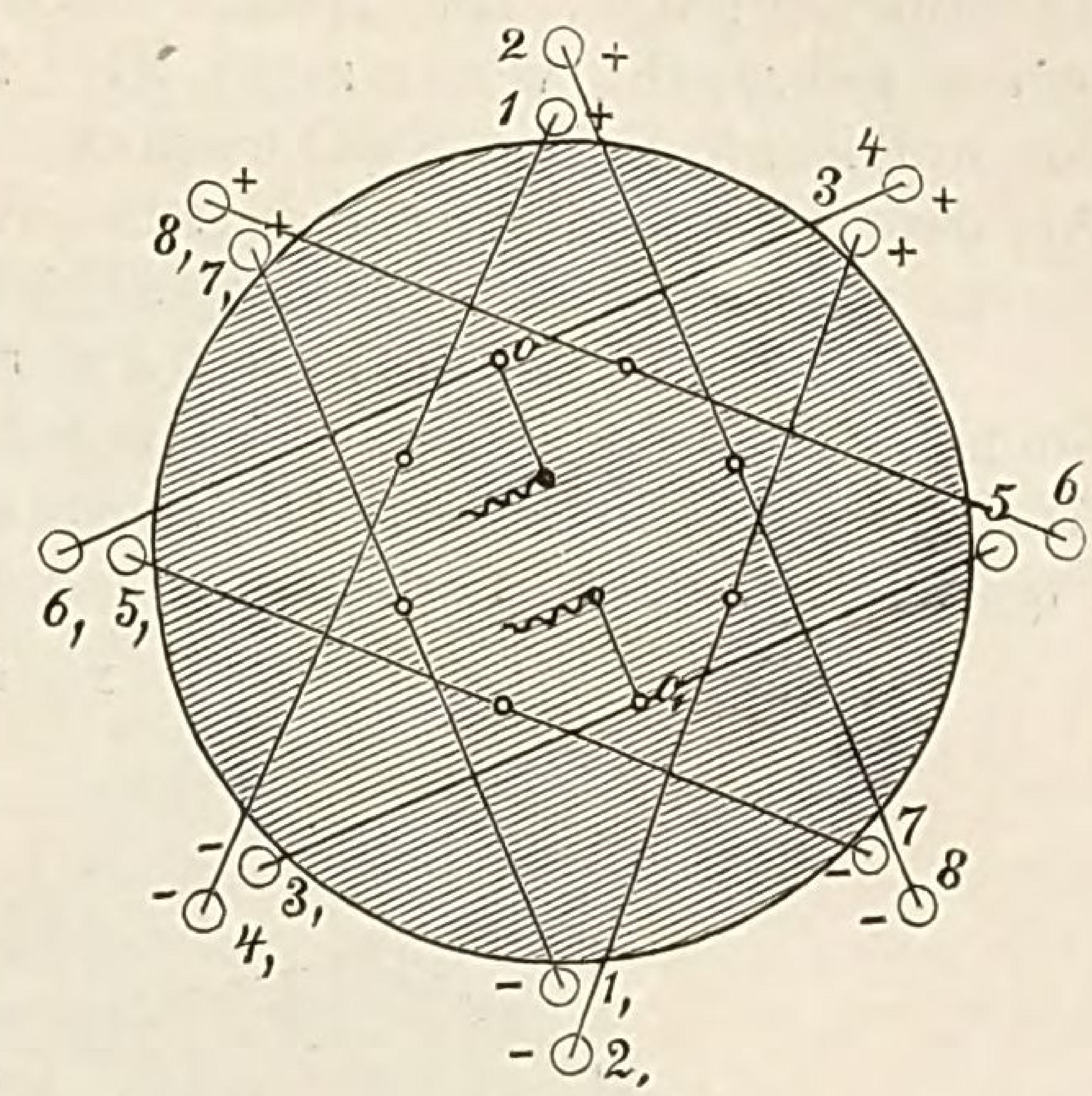
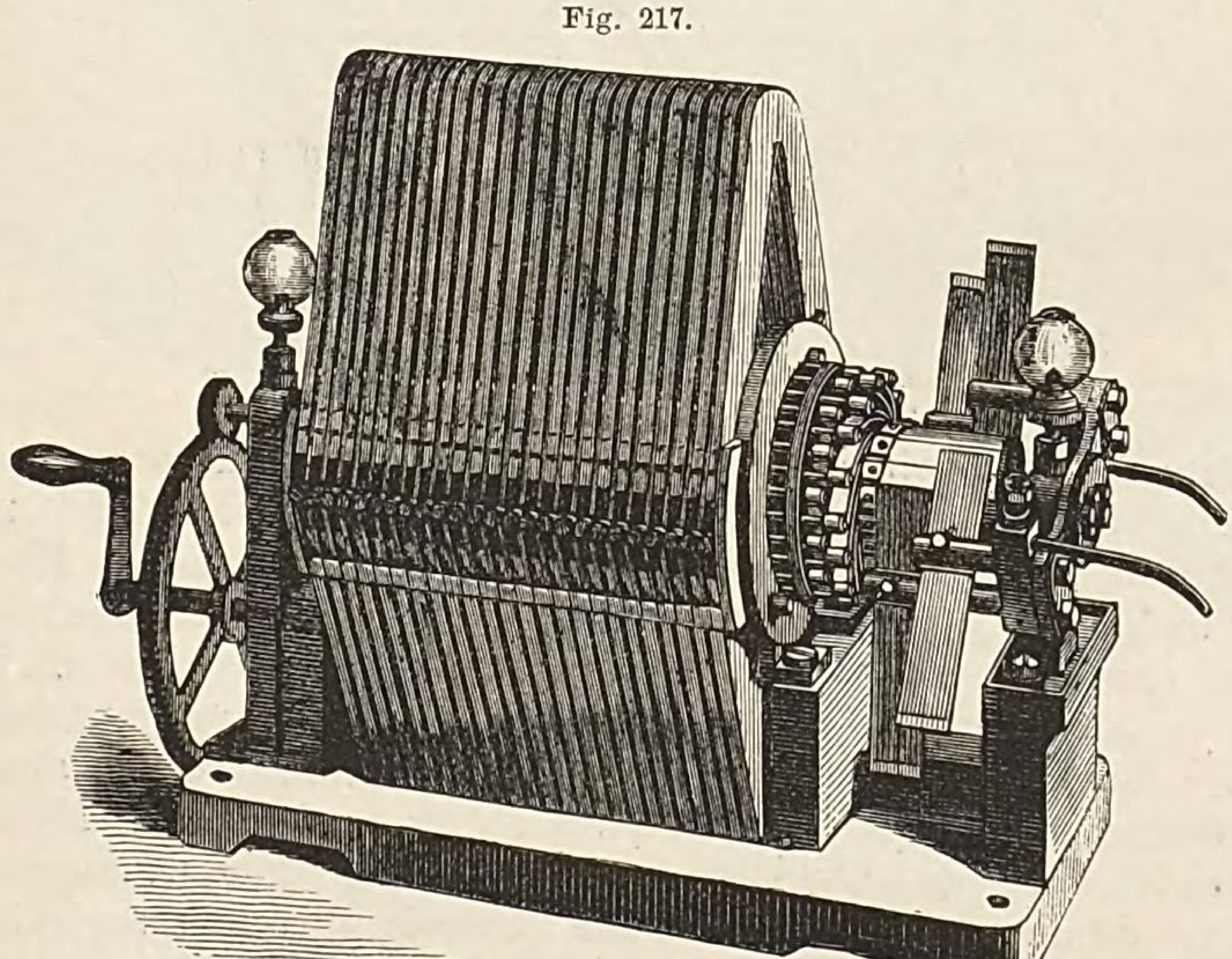


Fig. 217.



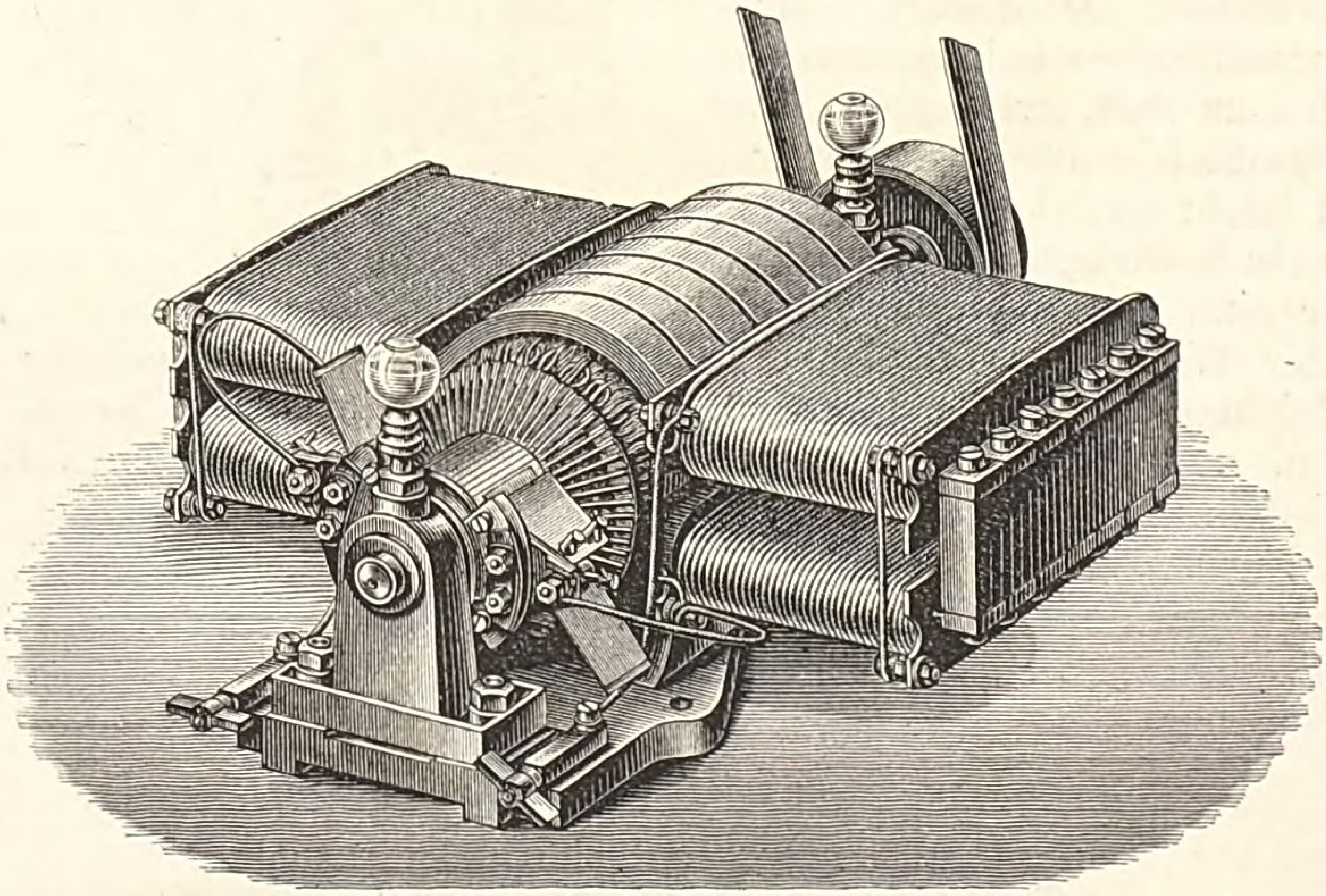
angeben, welche Drahtenden mit einander durch die Collektorstücke verbunden sind.

Die Hefner'sche Trommel, die nach dem Gesagten durchaus nicht leicht zu ersinnen war, ist also wesentlich verschieden von dem Gramme-

schen Ring. Sie liefert ebenfalls gleichgerichtete Ströme und sie liefert starke Ströme bei genügend schneller Umdrehung der Trommel. Denn die Drahtwindungen gehen hier direkt durch die starken magnetischen Felder hindurch. Eine magnetelektrische Maschine mit solchem Trommelinduktor, für Handbetrieb eingerichtet, wie sie in Laboratorien gebraucht wird, zeigt Fig. 217. Man sieht eine grosse Reihe von hufeisenförmigen Stahlmagneten, zwischen denen die Trommel liegt. An dem Collektor derselben schleifen die Bürsten, von denen aus der Strom nach aussen geführt wird.

Die Dynamomaschinen mit Trommelinduktor werden von Siemens & Halske entweder liegend oder stehend ausgeführt. Eine Ansicht einer liegenden Dynamomaschine mit Trommelinduktor zeigt Fig. 218. Rechts und links liegen die flachen Elektromagnete, die

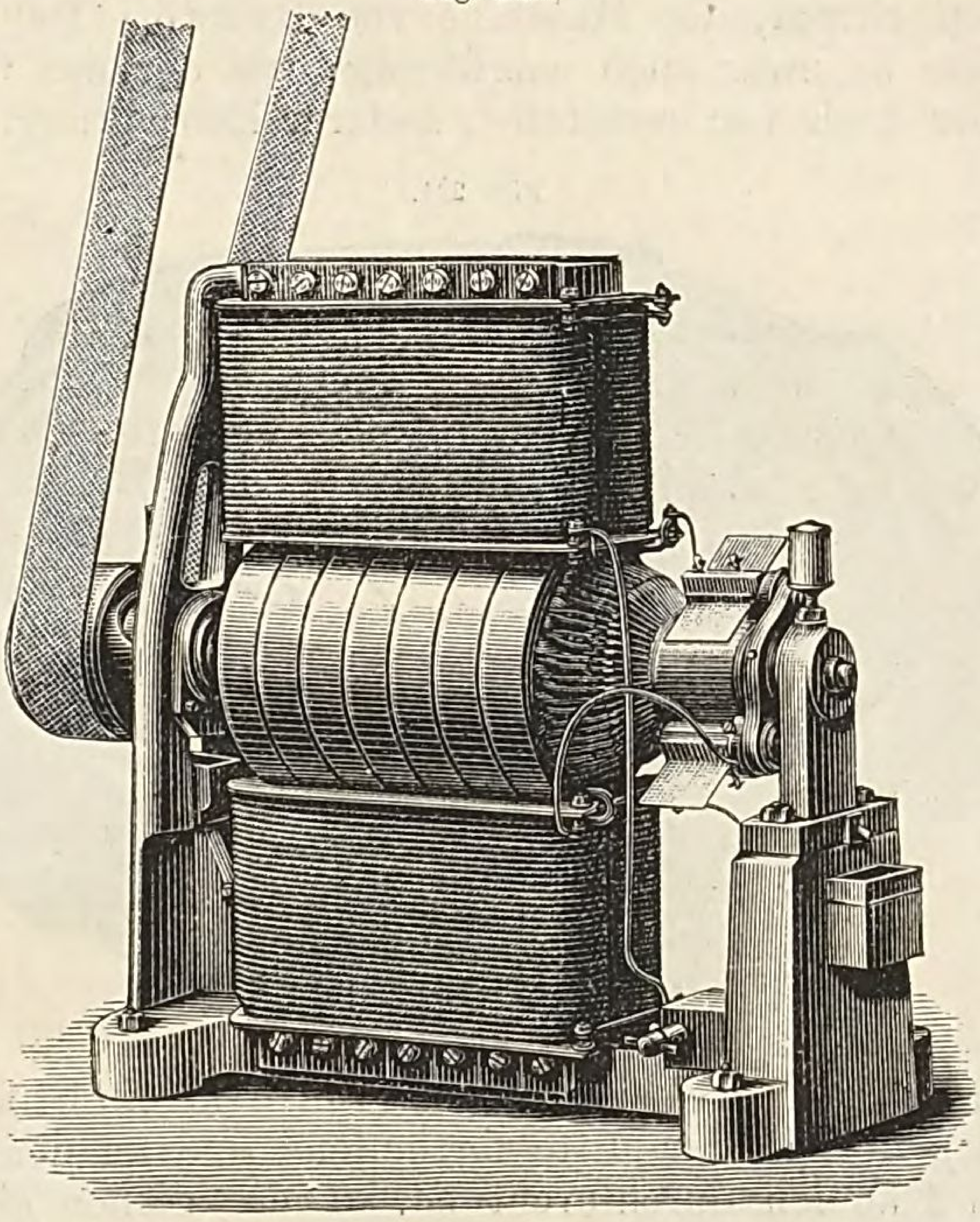
Fig. 218.



nach dem Dynamoprincip von dem Strom des Induktors erregt werden. Die beiden oberen Schenkel sind gleichnamig und mit einander durch fast halbkreisförmige Polschuhe verbunden. Ebenso die beiden unteren. Die Polschuhe umfassen also die Trommel fast vollständig. Senkrecht zur Verbindungslinie ihrer Mitten stehen die Bürsten, welche je nach der Drehungsgeschwindigkeit etwas vorgerückt werden können. Die Maschinen werden in verschiedenen Grössen ausgeführt. Die grössten sind 1 Meter lang, 0,90 Meter breit und $^1/_2$ Meter hoch. Die Umwickelung des Cylinders und der beiden Elektromagnete kann mit sehr dünnem Draht in vielen Umwindungen ausgeführt werden, wenn der äussere zu überwindende Widerstand gross ist. Ist dieser klein, so sind wenig und dicke Umwindungen vortheilhaft. Eine solche Maschine mit ganz ausserordentlich dicken Kupferumwindungen, die man gar nicht mehr als Drähte bezeichnen kann, wird von Siemens für galvanoplastische Zwecke gebaut. In Kap. 6 dieses Abschnitts ist eine solche abgebildet.

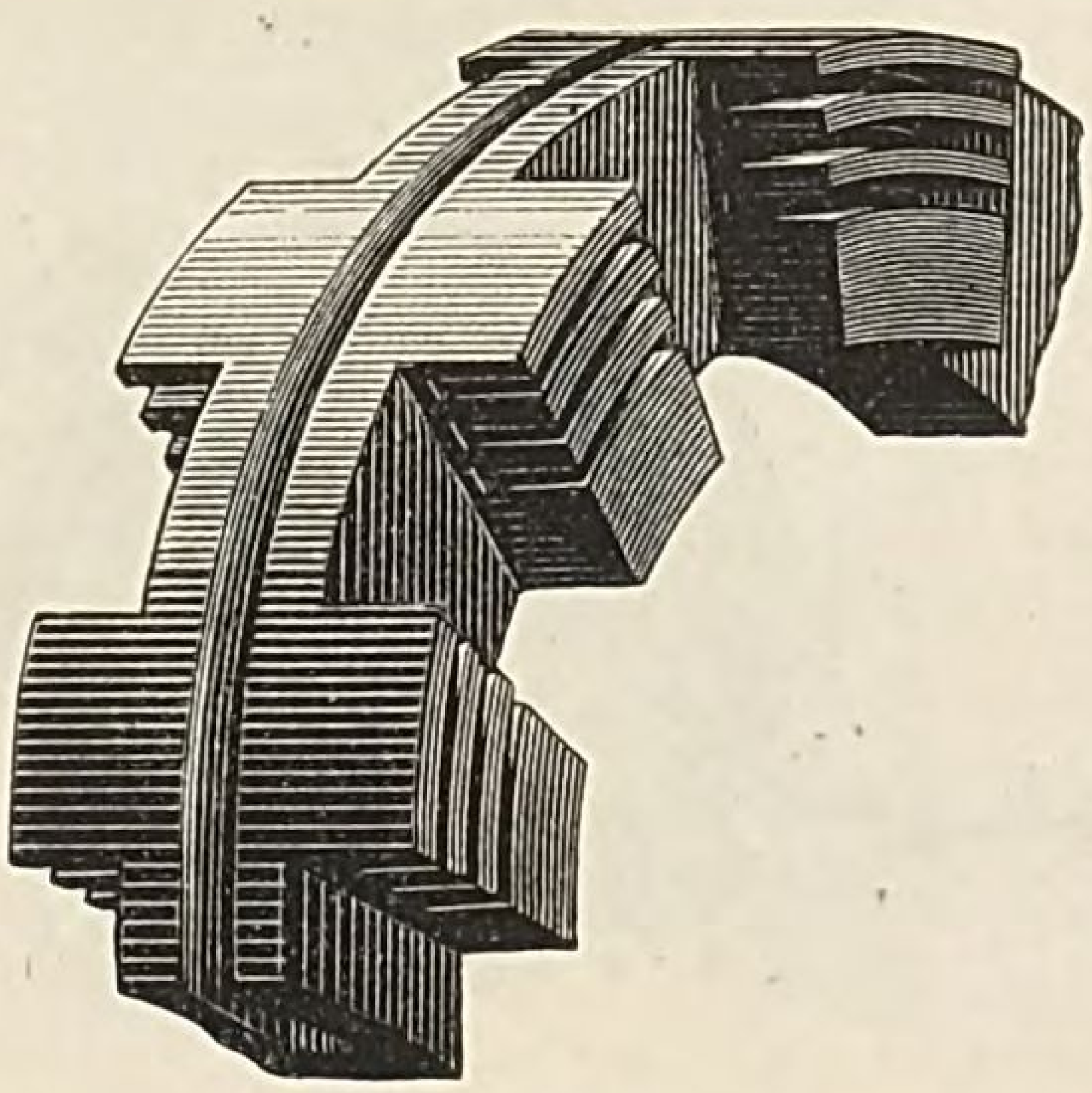
Bei den neueren Maschinen für constanten Strom legt Siemens die Elektromagnete nicht zu beiden Seiten der Trommel, sondern bringt

Fig. 219.



sie oben und unten an, wie Fig. 219 zeigt. Auch die kleine Hülfsmaschine, welche in Fig. 199 abgebildet ist, ist eine Siemens'sche Trommelmaschine. Sie dient dort dazu, die Elektromagnete der grossen Wechselstrommaschine zu erregen.

Fig. 220.



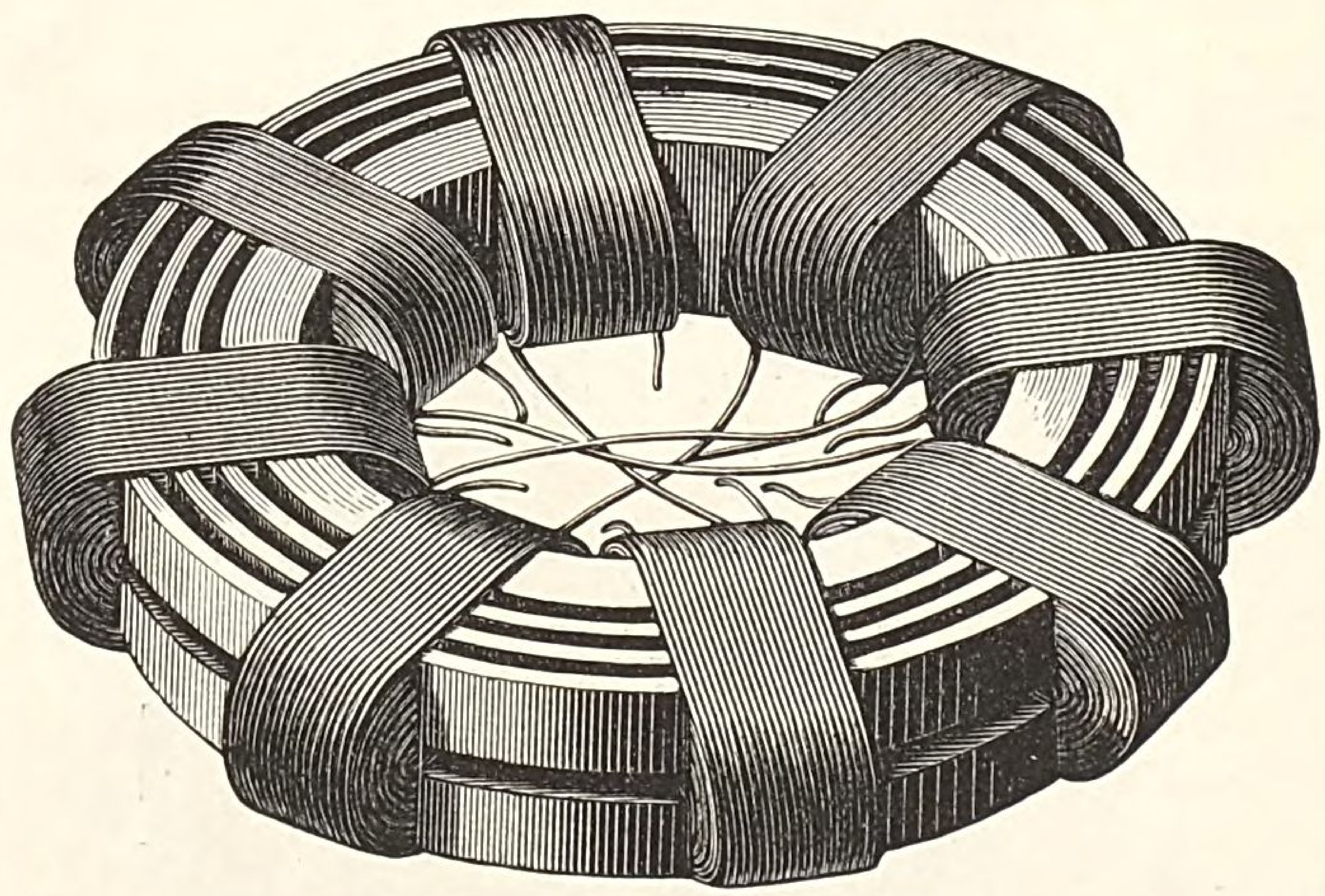
Der Widerstand der Maschine, d. h. des Induktors und der Elektromagnete zusammen, variirt natürlich je nach der Grösse der Maschine und je nach dem Zweck, zu dem sie gebaut ist. Für mittlere Maschinen zur Erzeugung von Bogenlicht kann man annehmen, dass der gesammte Widerstand der Maschine 1 Siemens nicht überschreitet, ja meistens unter 1 Siemens bleibt. Selbstverständlich richtet sich dies nach der Natur der Leistung, welche der Maschine aufgegeben wird, also nach dem Widerstand des äusseren Schliessungskreises.

Ebenso wie der Gramme'sche Ring mit geringen Modifikationen von vielen Construkteuren nach Gramme angewendet wurde, ist auch

die Hefner'sche Trommel bei einigen anderen Maschinen benutzt worden, wie wir später ausführen werden.

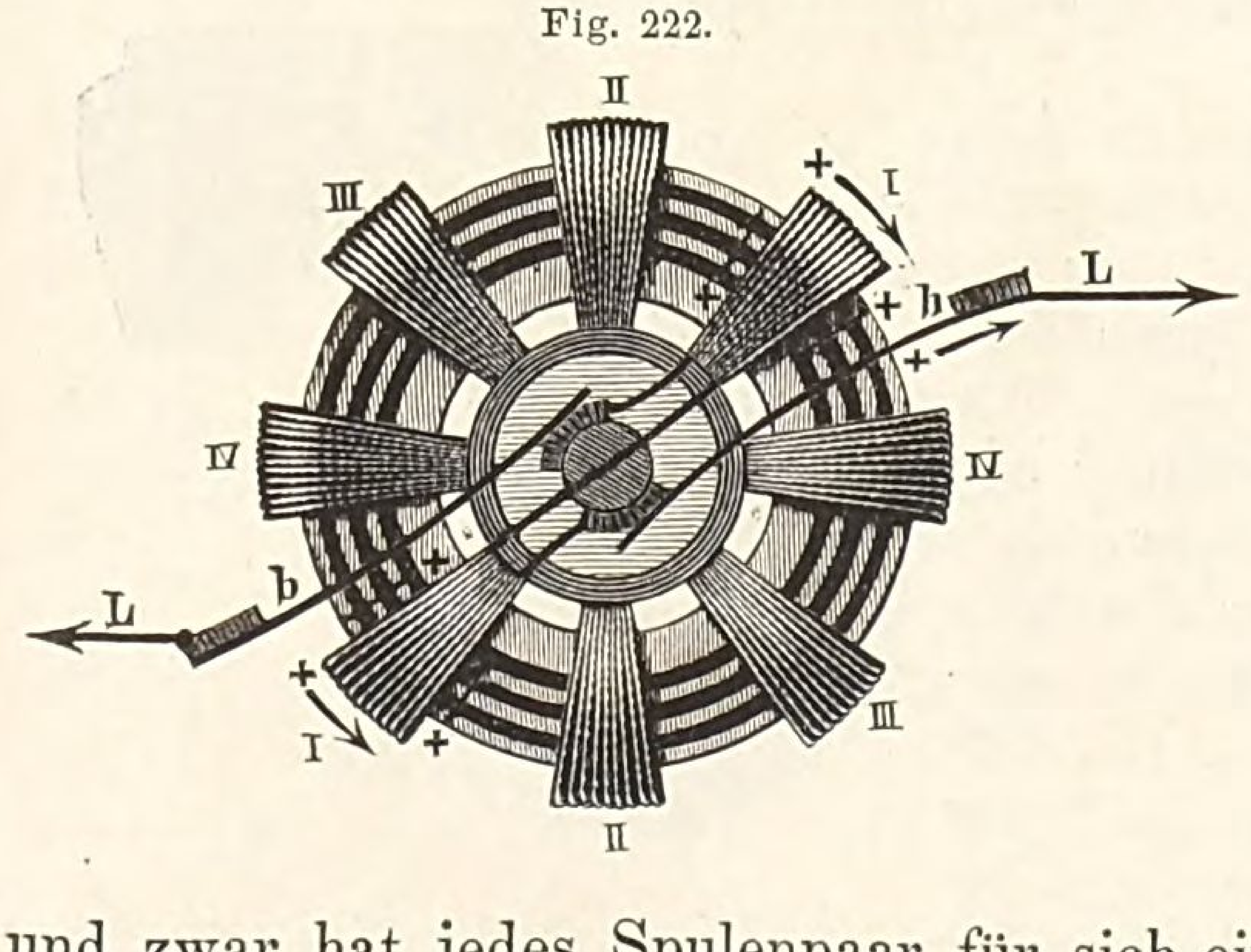
Wir wenden uns zu dem dritten Typus der Dynamomaschinen für constanten Strom, der Maschine von Brush. Der Induktor der Brush-Maschine ist zwar auch ringförmig, wie der der Gramme'schen Maschine, aber doch von wesentlich anderer Einrichtung. Derselbe be-

Fig. 221.



steht aus einem breiten eisernen Ring (von dem ein Stück in Fig. 220 gezeichnet ist), der, in der Mitte fortlaufend und an den Seiten unterbrochen, von Kanälen durchfurcht ist. Diese dienen einerseits dazu, um das Gewicht des Ringes zu vermindern, andererseits um für die Ausstrahlung der erzeugten Wärme mehr freie Fläche zu gewinnen. Auf diesem Ring sitzen nun 8 Drahtspulen, von denen je zwei diametral gegenüberliegende entgegengesetzt gewickelt sind. Diese Spulen sind aber nicht wie bei Gramme fortlaufend mit einander verbunden, sondern von den freien Enden je zweier gegenüberliegenden Spulen ist je ein Paar mit einander verbunden, wie es in Fig. 221 gezeichnet ist.

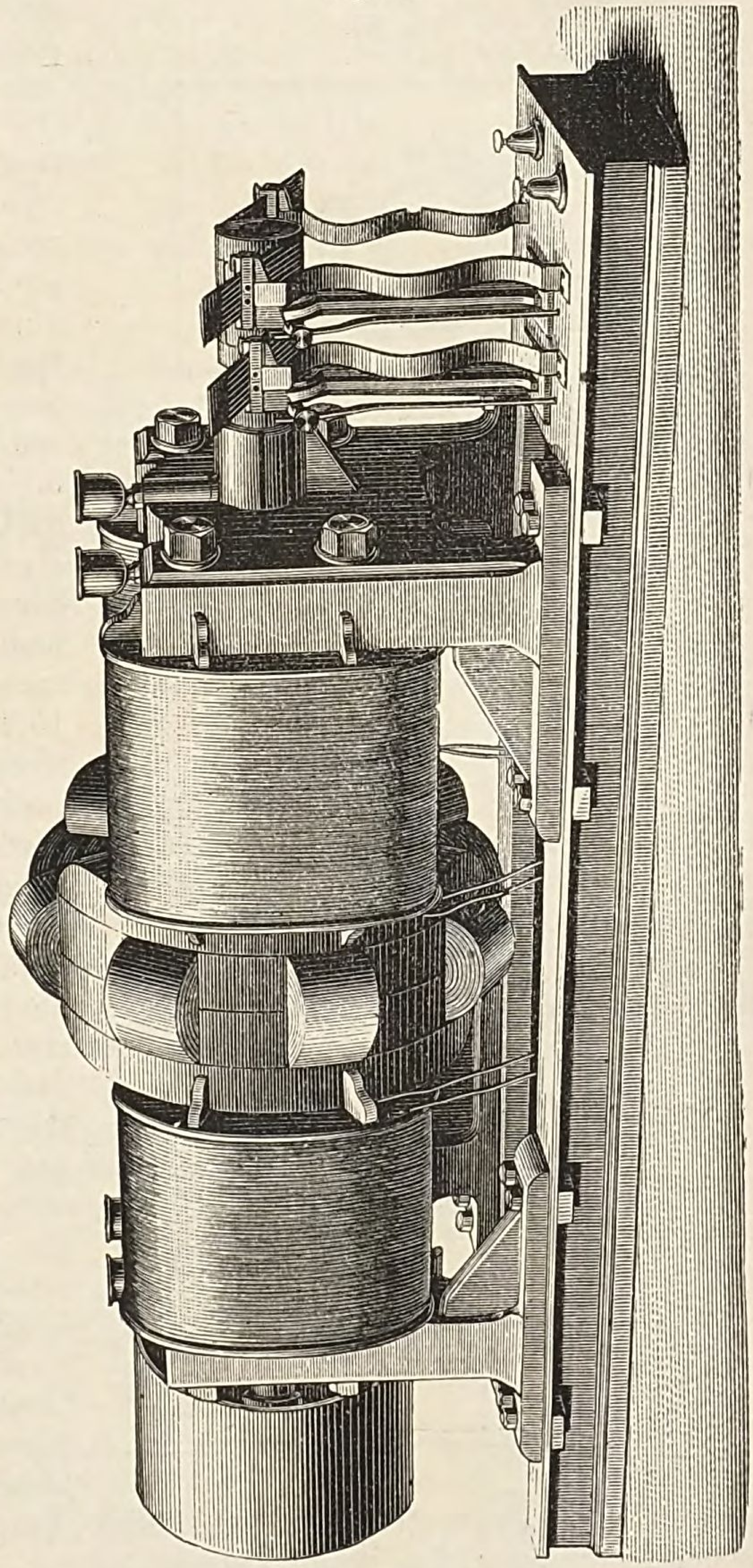
Fig. 222.



Die anderen freien Enden je zweier Spulen führen durch die Axe hindurch zu einem auf derselben sitzenden Commutatorring, und zwar hat jedes Spulenpaar für sich einen besonderen Commutator. Es ist in Fig. 222 die Verbindung zweier gegenüberliegender Spulen I I mit einander und mit den Commutatorsegmenten gezeichnet. Diese sind von einander isolirt. So führt jedes Paar von den 8 Spulen zu

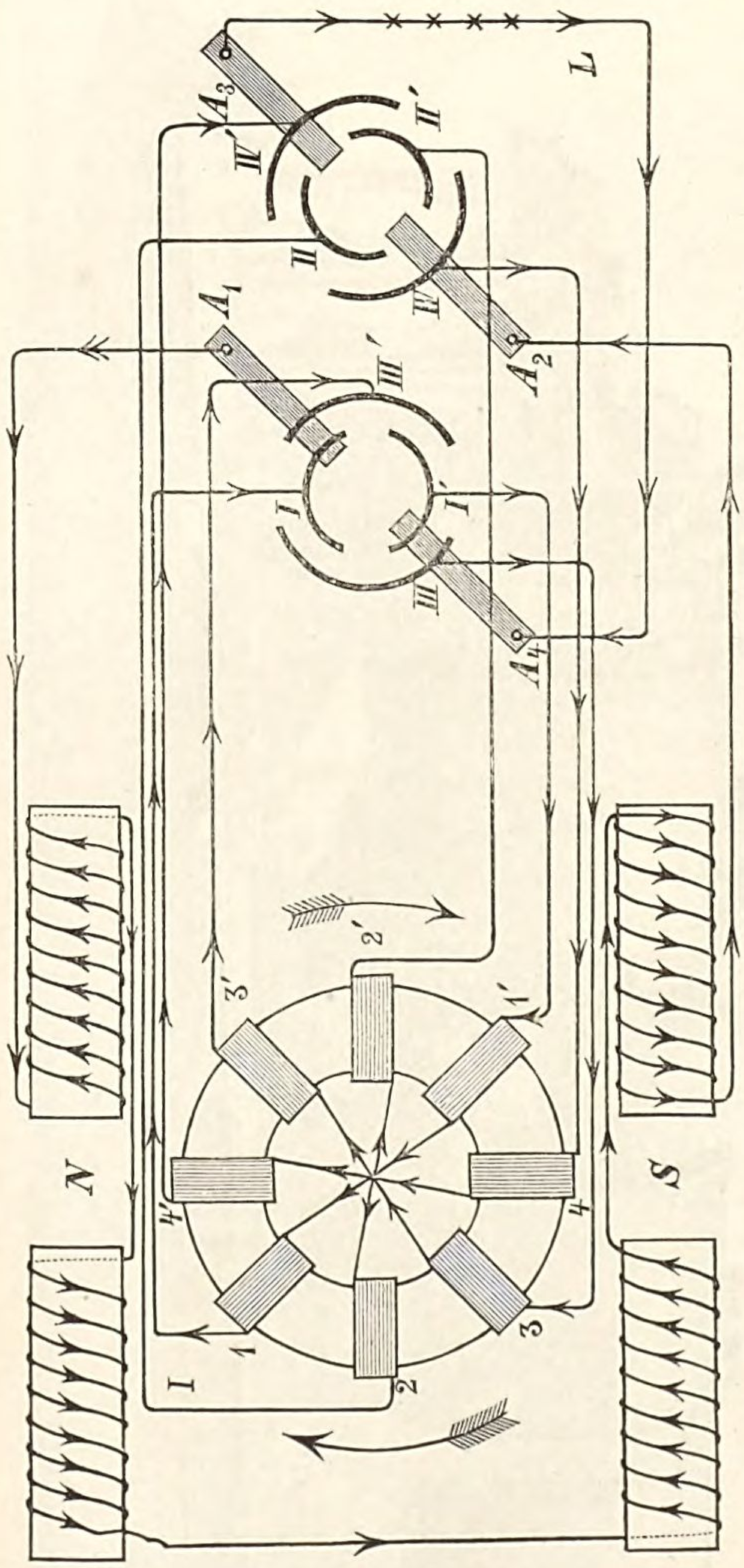
seinen zwei Commutatorsegmenten. In der Fig. 223, welche die sogenannte 16-Lichtermaschine darstellt, befinden sich auf dem Ring 4 Spulenpaare, also auf der Axe auch 4 Commutatorringe. An diesen 4 Commutatorringen schleifen nun auf jeder Seite 2 Bürsten, so dass das erste Bürstenpaar die Ringe 1 und 3, das zweite die Ringe 2 und 4 berührt. Die Verbindung der einzelnen Theile der Maschine ist aus Fig. 224 a. f. S. zu erkennen. Mit dem ersten Commutatorring ist das Spulenpaar 1 1′ verbunden, mit dem zweiten das Paar 2 2′, mit dem dritten 3 3′ und mit dem vierten 4 4′. Beim Gang der Maschine sind nun immer in jeder Lage abwechselnd 3 von den Drahtspulenpaaren geschlossen, während das vierte Spulenpaar, welches gerade an den Indifferenzstellen sich befindet, ungeschlossen, also stromlos bleibt. Von den drei andern Spulenpaaren senden abwechselnd eins oder zwei ihren Strom in die äussere Leitung L direkt, während das dritte erst die Elektromagnete N S speist und dann auch noch in die äussere Leitung geht. Um das bei jeder Lage des Rings zu bewerkstelligen, muss natürlich der Commutator eine besondere Einrichtung haben. Doch genügt es hier, die Art der Wirksamkeit dieser Maschine zu schildern, ohne die specielle Einrichtung des Commutators zu beschreiben. In der Anordnung der Fig. 224 bleibt das Spulenpaar 2 2′, welches grade an der Indifferenzstelle sich befindet, ungeschlossen. Seine Commutatorringe II II′ sind von den Bürsten nicht berührt. Dagegen geht

Fig. 223.



der Strom von der Spule 4 nach 4′, dann zum Ring IV′ und durch die Bürste A_3 zur äusseren Leitung L und von dieser zur Bürste A_4. Von dort gehen zugleich die Ströme aus III und I′ über die Spulen 3 und 1 durch die Bürste A_1 zu den Magneten N und S und vereinigen sich dann in A_2, von wo der Strom nach 4 zurückgeht. Mit einer solchen Maschine speist Brush 16 Bogenlampen, mit einer anderen sogar 40 in demselben Stromkreis. Die Maschine, welche 16 Lampen speist, hat nach den Angaben von Brush einen Widerstand (Induktorspulen und Elektromagnete) von 10,55 Ohms. Bei dem äusseren Widerstand der 16 Lampen mit Leitung von 83,51 Ohms giebt sie eine elektromotorische Kraft von 839 Volts und eine Stromstärke von 10 Ampères, wobei sie von einer Dampfmaschine getrieben wird, die 15,48 Pferdekräfte auf sie aufwendet. Die hohe elektromotorische Kraft der elektrischen Ströme in der Brush-Maschine macht diese recht gefährlich für die Bedienungsmannschaften. Andererseits aber erzielt die Brush-Gesellschaft dadurch eine Billigkeit in der Anlage und im Betriebe bei der elektrischen Beleuchtung, welche von keinem anderen System erreicht wird. Daher ist auch die Brush-Maschine wohl am meisten von allen Dynamomaschinen verbreitet.

Fig. 224.



Nachdem wir nun die drei Grundformen aller Dynamomaschinen kennen gelernt haben, wollen wir die wesentlichsten Verbesserungen oder speciellen Einrichtungen für besondere Zwecke bei jeder von ihnen kennen lernen.

Die Gramme'sche Maschine, die oben beschrieben wurde, ist von so vorzüglicher Construktion, dass sie trotz der unzähligen Veränderungen, die viele Constrakteure mit ihr in einzelnen Theilen vornahmen, immer noch zu den leistungsfähigsten und praktischsten aller Dynamomaschinen gehört. Es ist nicht schwer, eine Reihe von

Umständen anzugeben, welche die Wirksamkeit dieser Maschine erhöhen könnten. Der Hauptumstand nämlich, welcher die Wirksamkeit einer Dynamomaschine beeinträchtigt, ist ihre Erwärmung. Wenn die Maschine sich rasch bewegt und in Folge dessen starke Ströme in ihr fliessen, so werden die Drähte der Maschine nach dem Joule'schen Gesetz erhitzt. Ausserdem aber tritt auch Erwärmung des Eisenrings ein, indem ja jeder Punkt dieses Ringes abwechselnd positiv und negativ magnetisch wird und daher durch die rasche Ummagnetisirung eine erhebliche Erwärmung auftritt, wie wir S. 138 gesehen haben. Dazu kommen noch andere Einflüsse, die hier nicht erwähnt werden können.

Um die Erwärmung der Leiter durch den Strom verhältnissmässig möglichst gering zu machen, ist es nothwendig, auf dem Induktor möglichst nur solche Drähte anzubringen, in welchen auch wirklich durch Induktion starke elektrische Ströme entstehen. Den Widerstand solcher Drähte kann man als *wesentlichen* Widerstand bezeichnen. Dann müssen also alle *ausserwesentlichen Widerstände* möglichst vermieden werden.

Bei dem Gramme'schen Ring nun haben die Theile der Umwickelungsdrähte, welche aussen auf dem Ring liegen, eine sehr bevorzugte Stellung gegenüber den inneren Theilen. Denn erstens liegen die entgegengesetzten magnetischen Pole, welche in dem Eisenring inducirt werden, ganz nahe an der äusseren Oberfläche des Ringes; die äusseren Drahttheile werden also stärker inducirt als die inneren. Ferner aber wirken die inducirenden Magnete selbst fast ganz allein auf die äusseren Windungen, weil ihr Einfluss auf die inneren durch die entgegengesetzten Pole des Ringes neutralisirt wird. Ja in den inneren Theilen der Drahtwindungen werden sogar Ströme von entgegengesetzter Richtung erzeugt, wie wir S. 229 gesehen haben. Die Hauptwirkung rührt also bei dem ursprünglichen Gramme'schen Ring von den äusseren

Fig. 225.

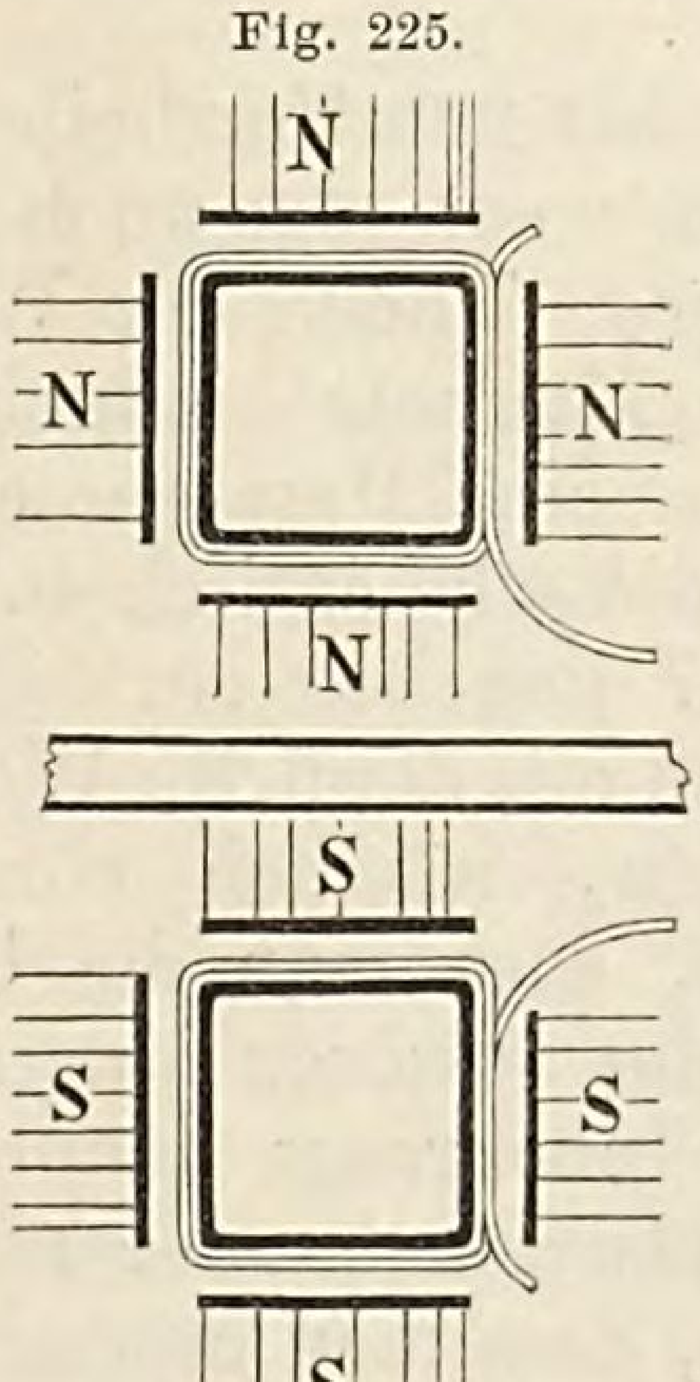


Fig. 226.

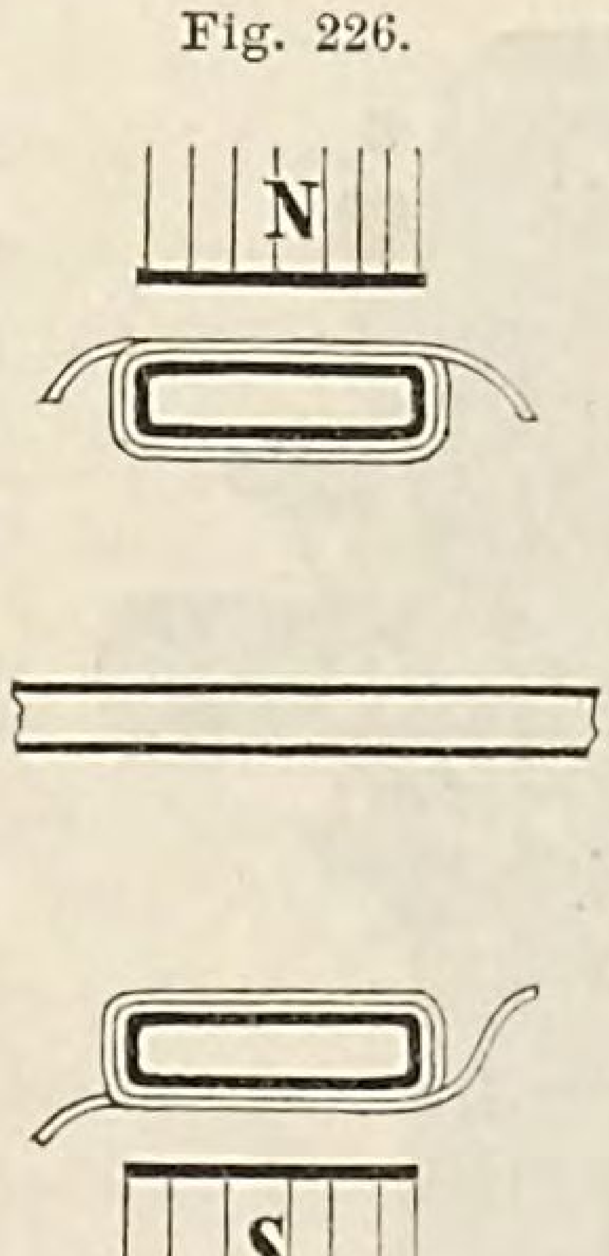
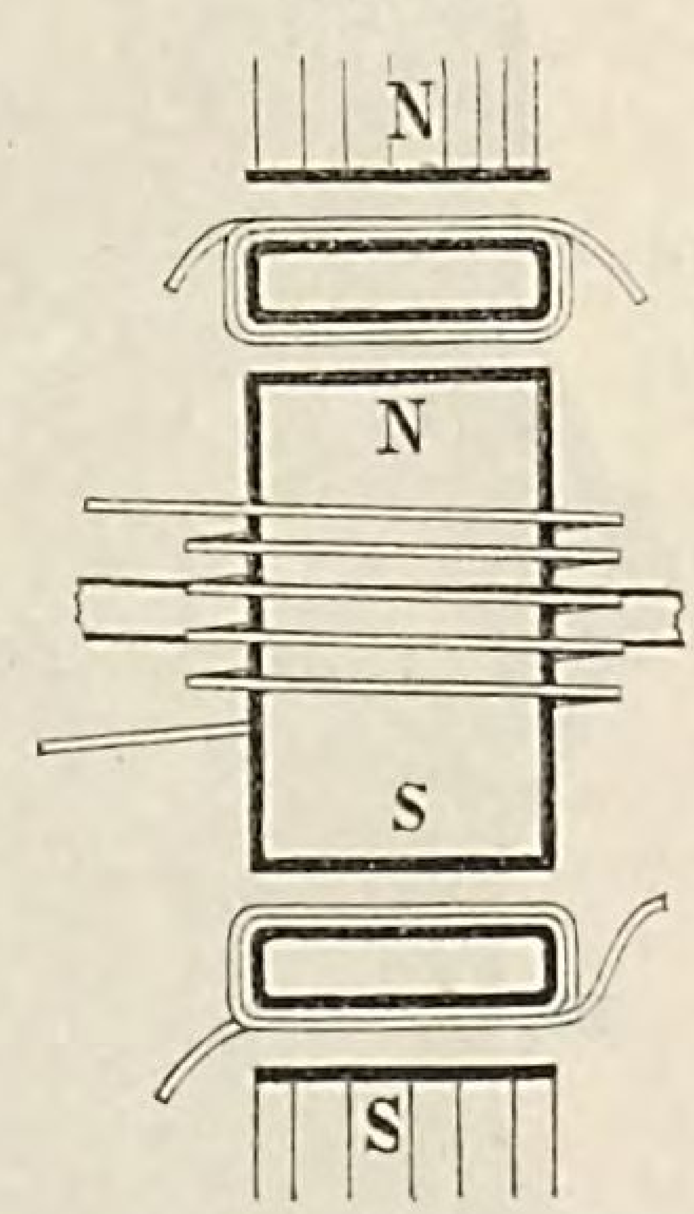


Fig. 227.

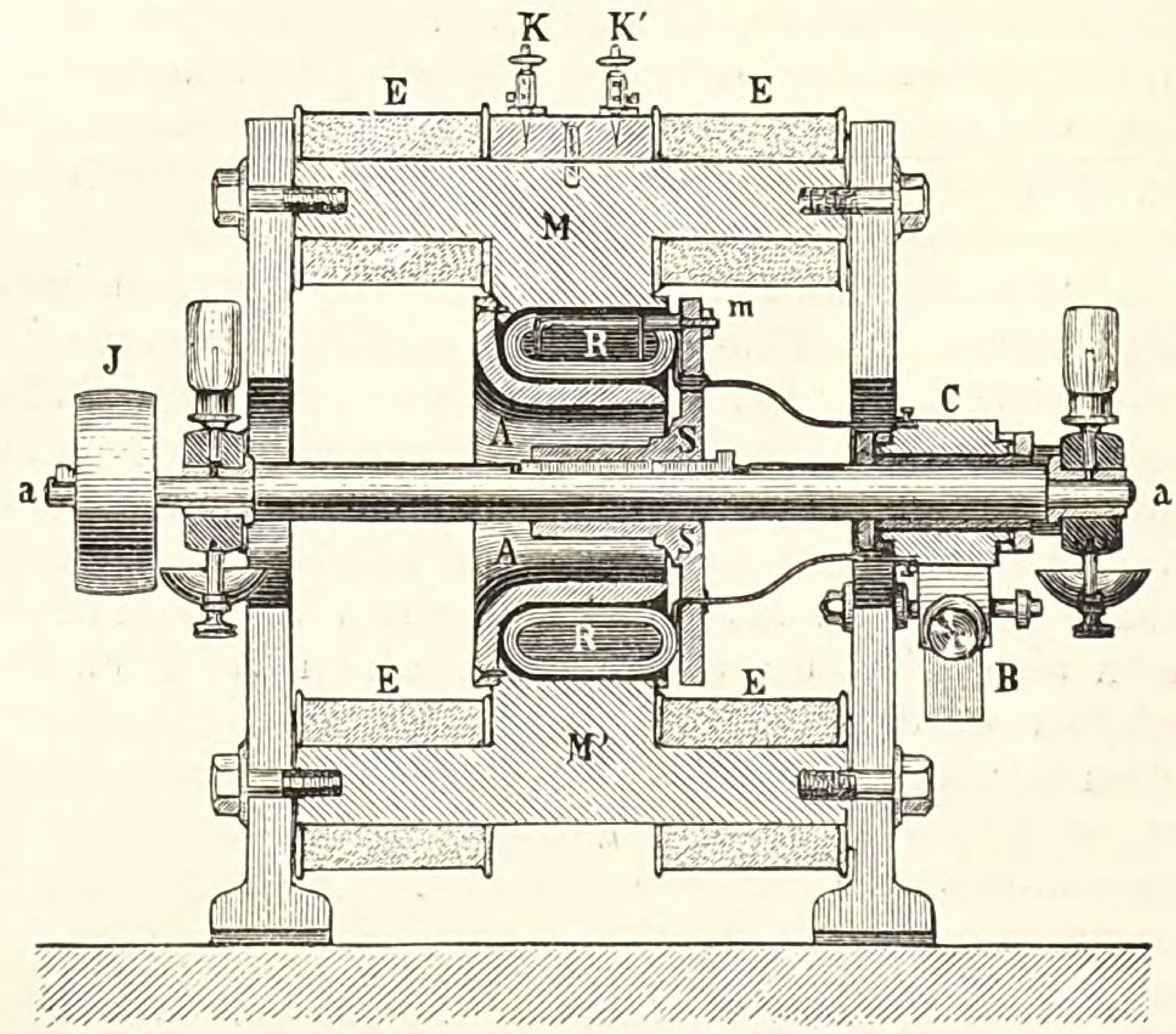


Theilen der Drahtumwickelung her, die inneren Theile sind demnach grösstentheils ausserwesentliche Widerstände.

Damit in allen Theilen des Ringes auch wirklich Elektricität inducirt würde, müsste er von allen Seiten mit Magneten umgeben sein.

Eine ideale Gramme'sche Maschine würde also schematisch durch die Fig. 225 gegeben sein. Darin hat der eiserne Ring einen quadrati-

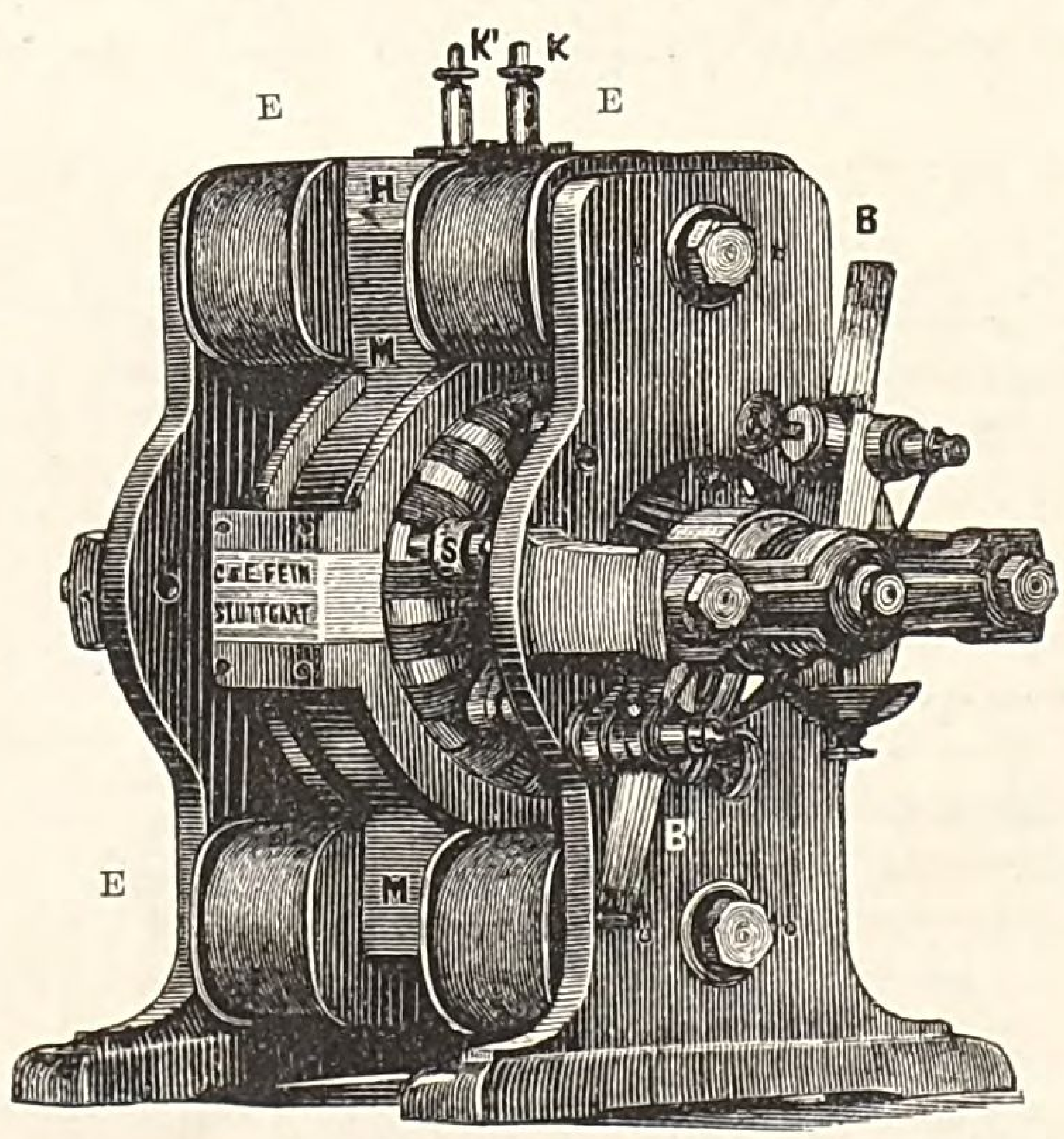
Fig. 228.



schen Querschnitt und oben und unten, sowie an den Seiten befinden sich inducirende Magnete.

In der gewöhnlichen Gramme'schen Maschine ist der Ring schmal und es befinden sich die Magnete nur ausserhalb, wie es Fig. 226 schematisch darstellt.

Fig. 229.



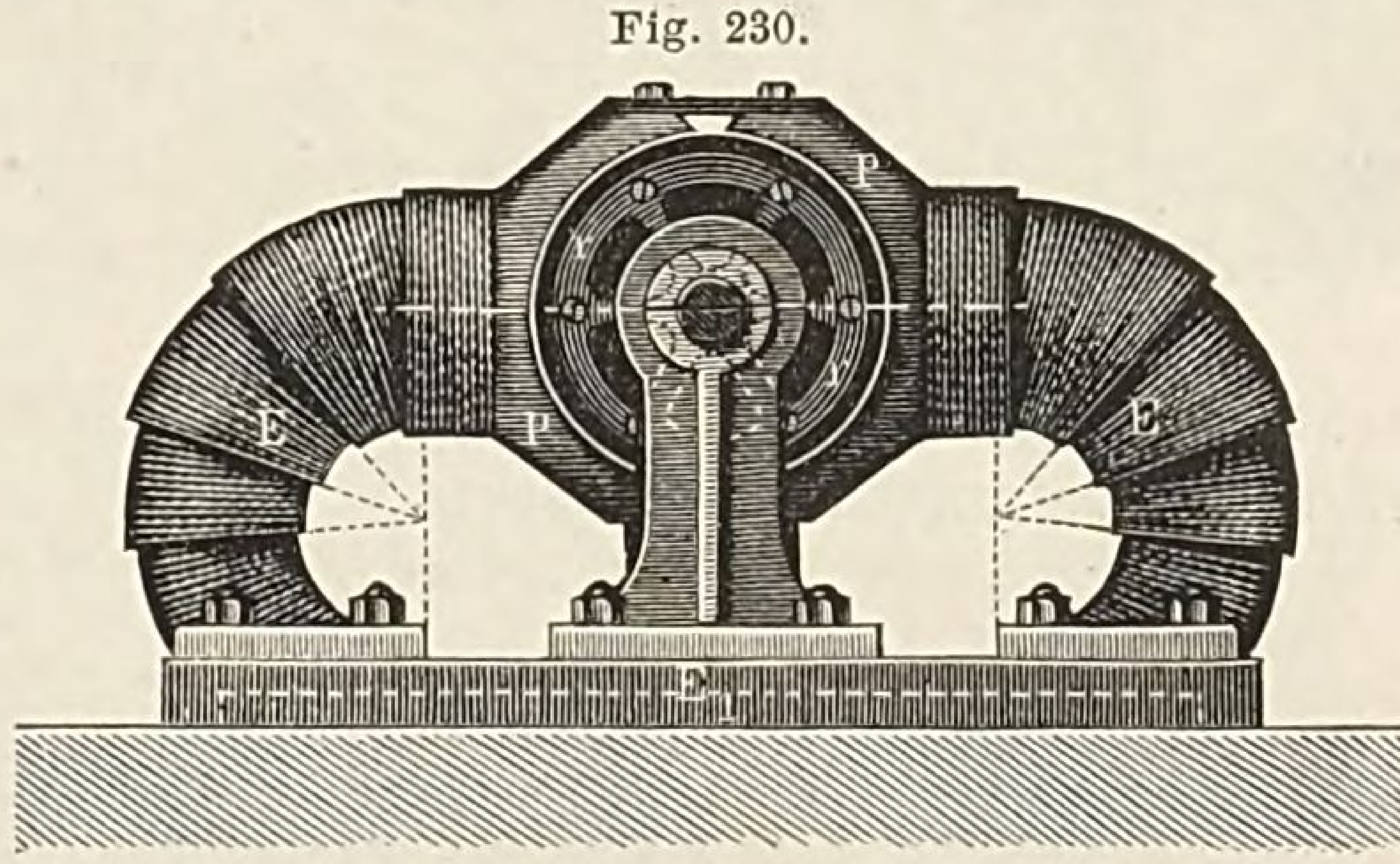
Man hat nun Vortheile zu erwarten, wenn man auch auf die inneren Theile der Windungen Magnete induciren lässt, also eine Maschine construirt, die schematisch durch Fig. 227 gegeben ist. Und dies kann auf doppelte Weise geschehen, nämlich einmal dadurch, dass man die Polschuhe der äusseren Magnete in den Innenraum hinübergreifen lässt, und andererseits dadurch, dass man besondere Elektromagnete in sie hineinbringt.

Das erste Mittel ist von Fein in Stuttgart bei seiner Maschine angewendet, von der Fig. 228 einen Durchschnitt giebt. Der Ring R R sitzt durch das mit ihm ver-

bundene Metallrad S fest auf der Axe a a und wird mit dieser gedreht. An die Endpole der Elektromagnete M und M' dagegen sind umgebogene Stücke A A aus Eisen angeschraubt, welche in das Innere des Ringes hineinreichen, so dass diese die Polschuhe bilden und auf die inneren Drahtwindungen inducirend wirken. Die seitlichen Ausläufer der Ringdrähte zum Collektor hin müssen natürlich isolirt durch das Metallstück S hindurch zum Stromsammler C geführt werden. Die Fein'sche Maschine ist äusserlich einer Gramme'schen Maschine sehr ähnlich, wie Fig. 229 zeigt. Der Ring befindet sich zwischen den umgebogenen Polschuhen M M der beiden Elektromagnete E E, die z. B. oben mit ihren Nordpolen und ebenso unten mit ihren Südpolen je an einander stossen und mit einander verbunden sind. Es soll sich die Wirkung der umgebogenen Polschuhe sehr deutlich in der erhöhten Stromstärke der Maschine bei gleicher Umdrehungszahl im Vergleich mit der einfachen Gramme'schen Maschine zeigen. Die Fein'schen Maschinen sind bisher nur in ziemlich kleinen Dimensionen ausgeführt.

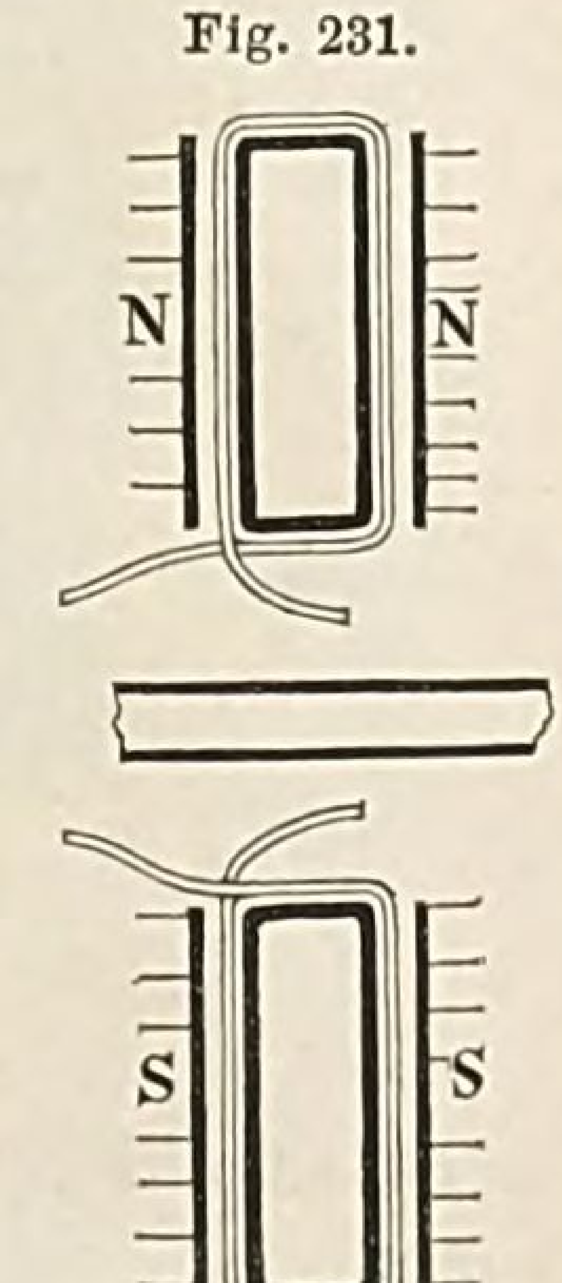
Radikaler wird die innere Hälfte der Drahtwindungen ausgenutzt durch die Maschine von Jürgensen, bei welcher kräftige Elektromagnete auch im Inneren des Ringes sich befinden. Die Fig. 230 giebt eine Ansicht dieser Maschine. Die äusseren Elektromagnete E E sind hier merkwürdig gebogen. Ihre Polschuhe P P umfassen den Ring r, der einseitig an einer Kupferplatte befestigt und durch diese auf der Maschinenaxe aufsitzt. Innerhalb des Ringes befindet sich ein Elektromagnet, aus einem vierarmigen Kreuz bestehend, der durch eine Abzweigung des Hauptstromes erregt wird. Je zwei neben einander liegende Arme tragen einen gemeinschaftlichen Polschuh, welcher dem gleichnamigen äusseren Polschuh direkt gegenüber liegt. Dieser Maschine wird sehr bedeutende Leistungsfähigkeit nachgesagt, welche sie auch nach dem richtigen Princip, auf welchem sie beruht, haben muss.

Fig. 230.



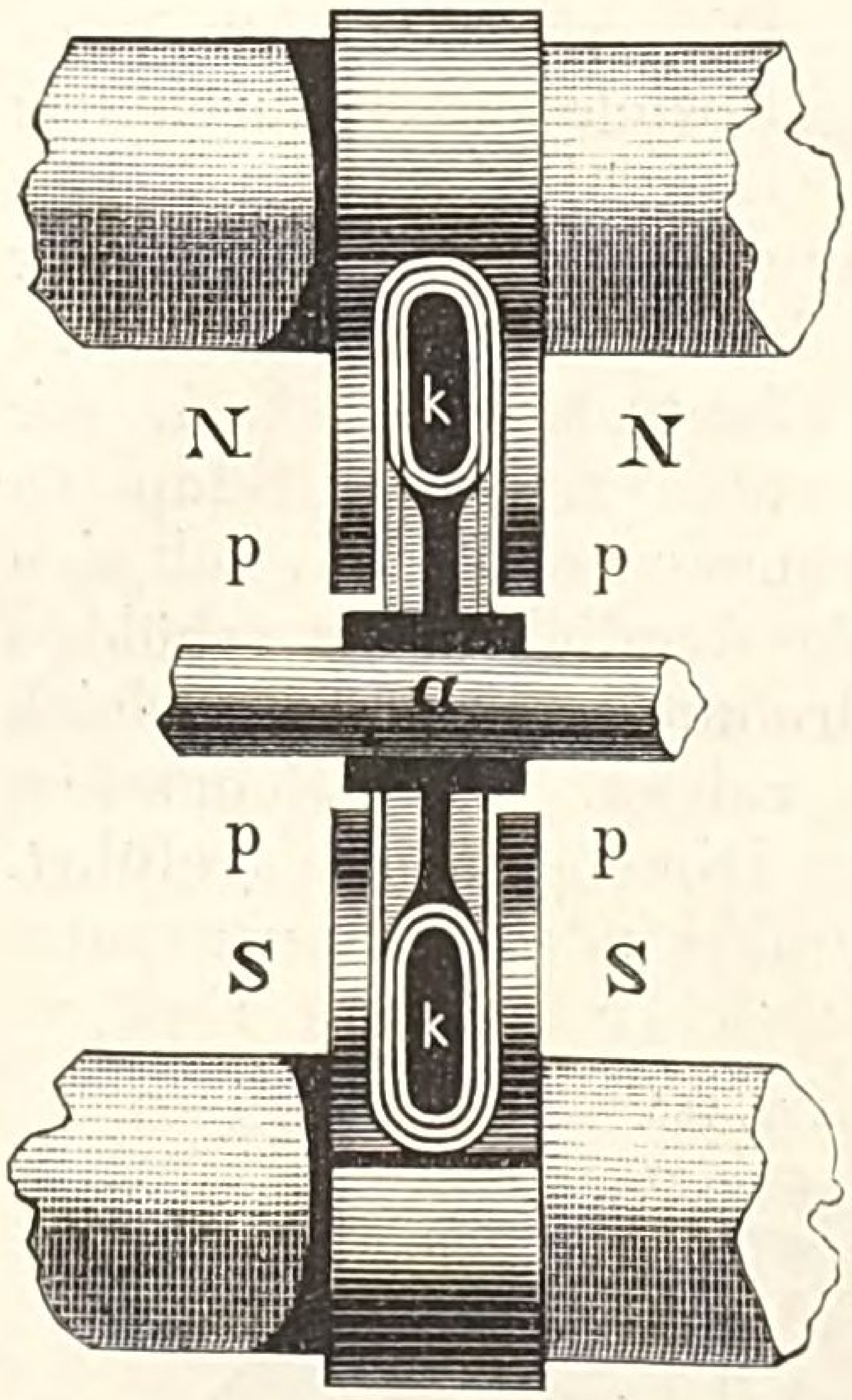
Eine andere Modifikation unserer idealen Gramme-schen Maschinen ist durch Fig. 231 charakterisirt. In dieser ist der Ring flach und die Magnete induciren hauptsächlich die Seiten des Ringes. Dies Princip liegt (nach dem früheren Vorgang von Siemens) den Dynamomaschinen von Schuckert zu Grunde. Schuckert macht den Ring flach, so dass seine Breite nur etwa $1/4$ seiner Dicke ist, und bringt die Polschuhe der Magnete so an, dass sie auf die Seitenflächen des Ringes wirken, während er sonst die Maschine nicht verändert. Es zeigt also Fig. 232 den Durchschnitt des mittleren Theiles einer Schuckert-

Fig. 231.



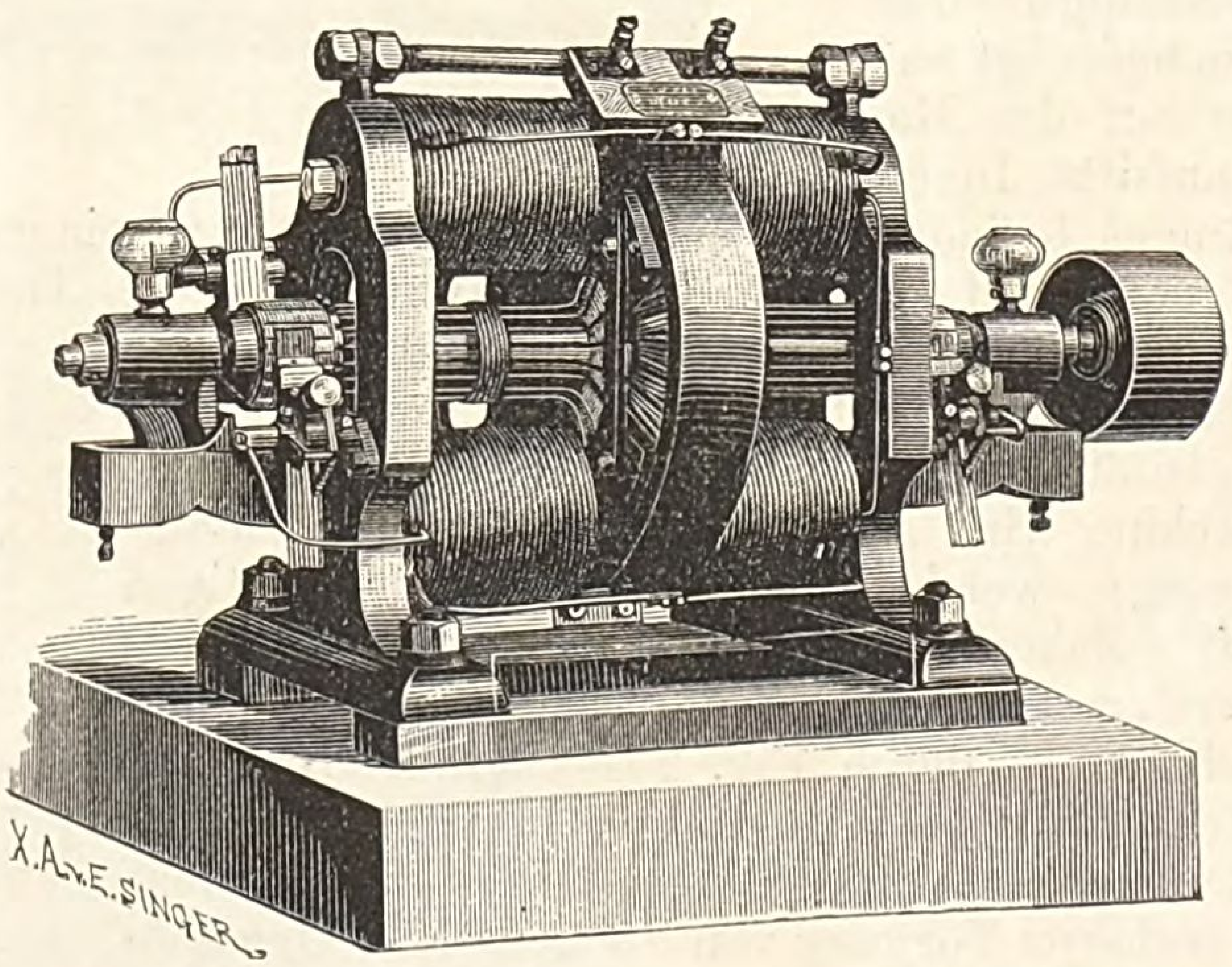
schen Maschine, in welcher E und E die Elektromagnete, kk die Eisenkerne des Ringes sind; bei a ist die Axe des Ringes und pp sind die gabelförmigen Polschuhe der Magnete. Die Ansicht einer solchen kleinen Schuckert'schen Flachringmaschine giebt Fig. 233. Die Polschuhe der Magnete umfassen von unten und oben die Seiten des Rings fast bis auf $^2/_3$ ihrer Flächen. Es wird in Folge dessen der grösste Theil der Drahtumwindungen wesentlicher Widerstand und nur die kurzen Drähte auf der Breite des Rings werden weniger beeinflusst. Die Maschinen werden zum Theil in sehr grossen Dimensionen ausgeführt. Fig. 234 stellt eine grosse Schuckert'sche Maschine dar, bei welcher die Magnete im Nebenschluss liegen.

Fig. 232.



Auf eine sehr originelle Art veränderte Bürgin den einfachen Grammeschen Ring. Er brachte nämlich statt eines einzigen Ringes 8 Ringe hinter einander auf einer Axe an, wie es Fig. 235 zeigt. Die Eisenkerne dieser Ringe sind durch Radspeichen auf der Drehungsaxe befestigt. Ein jeder von den Drahtringen be-

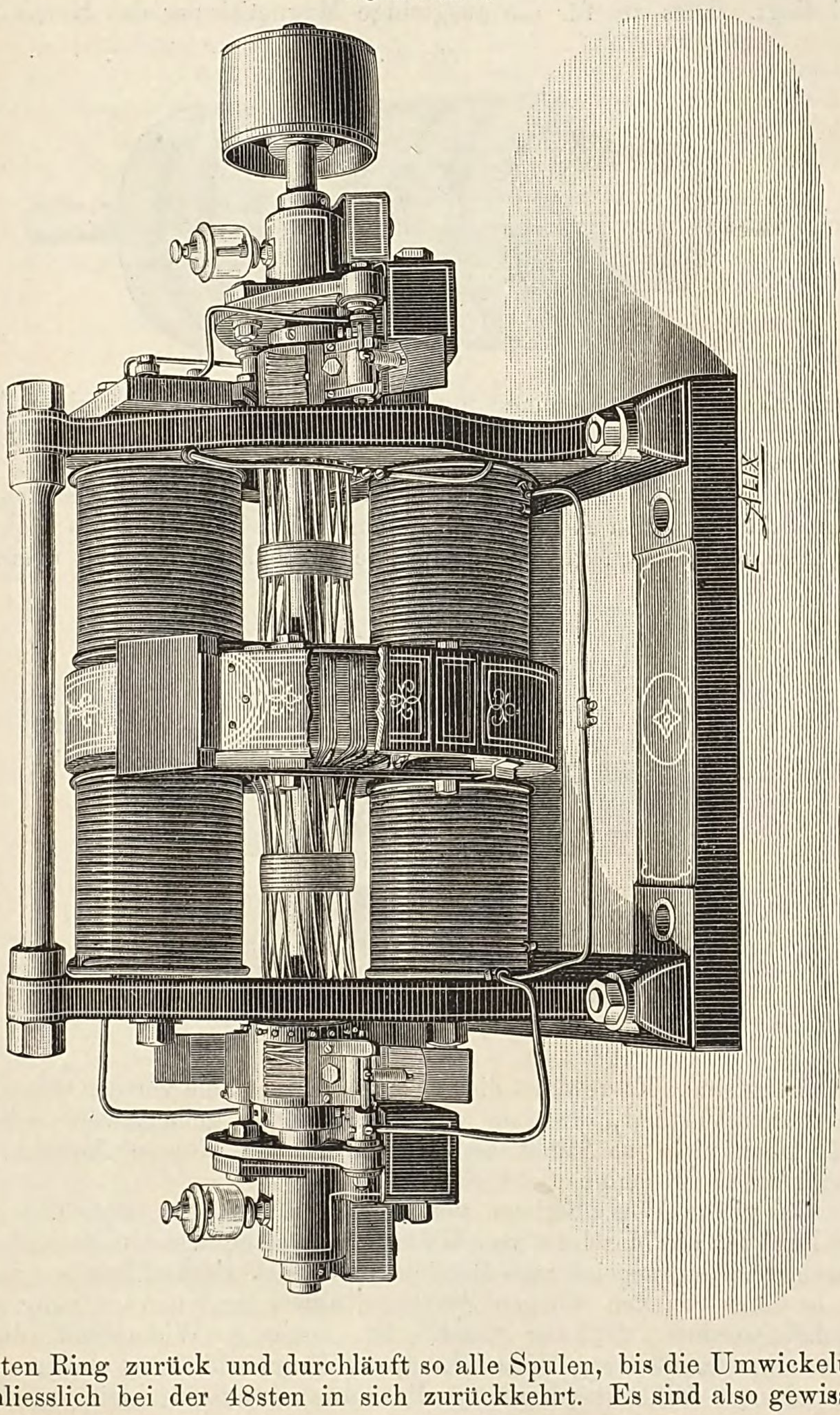
Fig. 233.



steht aus 6 Spulen, so dass im Ganzen also 48 Spulen in dem Induktor vorhanden sind. Die Umwickelungen der einzelnen Ringe sind nun, wie aus der Figur ersichtlich, um je $^1/_{24}$ des Kreisumfangs gegen einander verschoben. Die einzelnen Spulen eines Ringes sind nicht direkt mit einander verbunden, sondern die Verbindung geht von einer Spule

des ersten Ringes zur nächstliegenden des zweiten, von dieser zur nächstliegenden des dritten und so weiter bis zur achten, kehrt dann zum

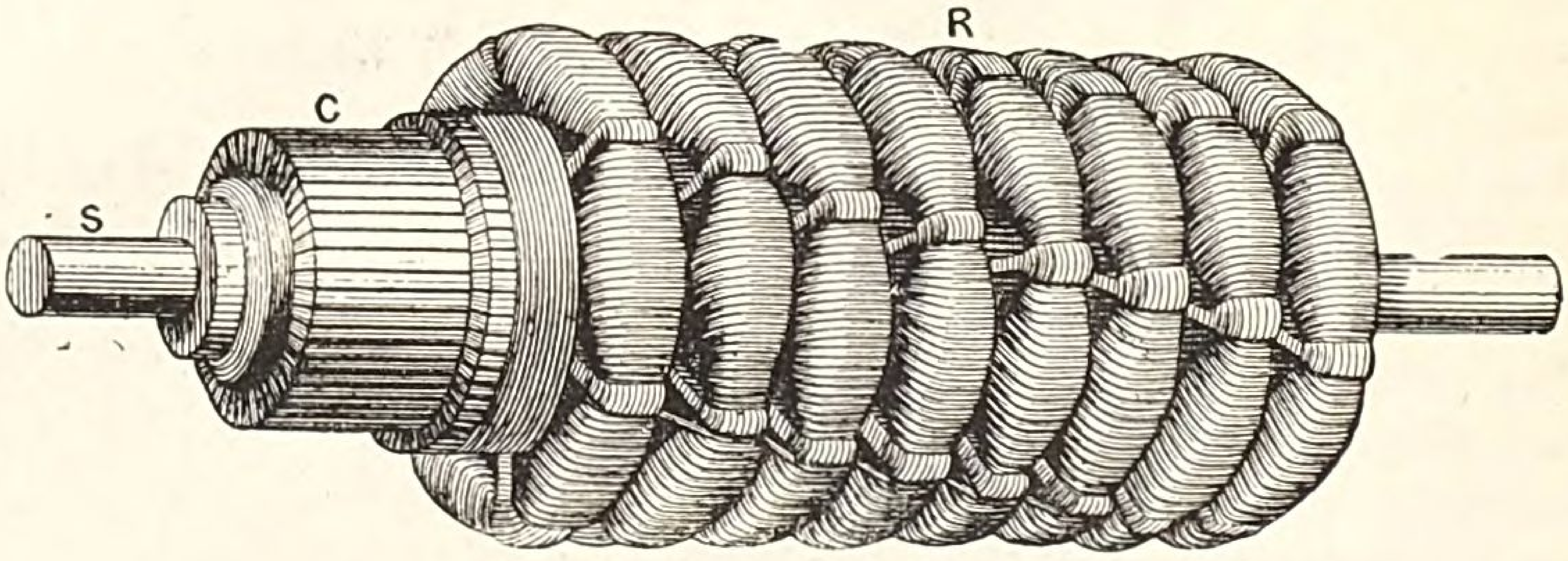
Fig. 234. (L. é.)



ersten Ring zurück und durchläuft so alle Spulen, bis die Umwickelung schliesslich bei der 48sten in sich zurückkehrt. Es sind also gewisser-

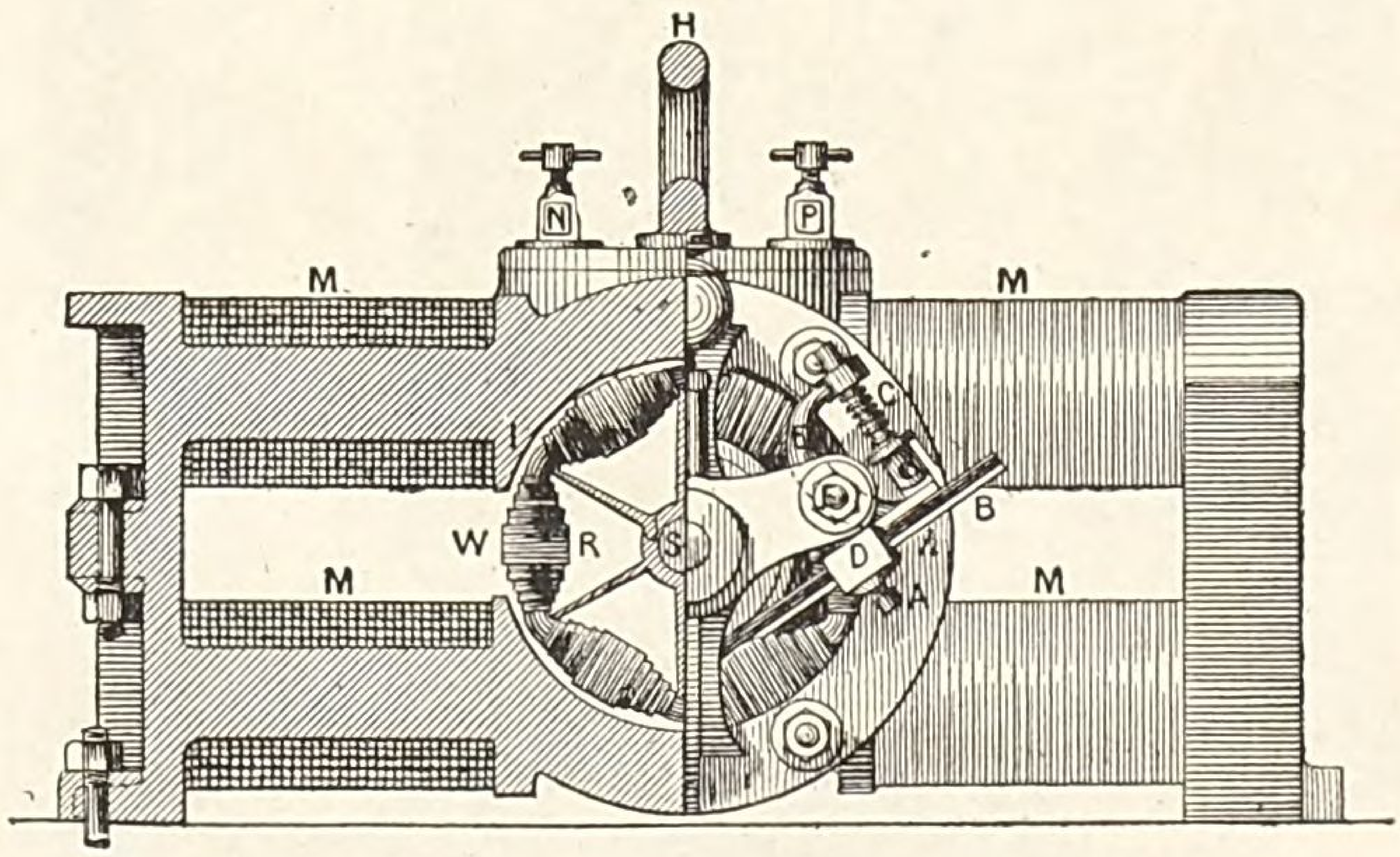
massen die 48 Spulen eines Gramme'schen Ringes hier auf 8 Ringe vertheilt. Dadurch wird erreicht, dass ein jeder Ring mit weniger Draht umwickelt ist und daher an einzelnen Stellen sein Eisenkern frei liegt. Dies ist für die ausgiebige Magnetisirung des Kerns von

Fig. 235.



Vortheil. Ausserdem können nun in Folge der cylinderförmigen Ausbreitung des Gramme'schen Ringes die Elektromagnete ganz ebenso angebracht werden, wie es Siemens bei seinen Maschinen thut. Es zeigt die Fig. 236 einen Durchschnitt durch die Bürgin'sche Maschine. Man sieht darin den Ring R mit seinen Radspeichen und die Elektromagnete M M, deren gleichnamige Pole durch Polschuhe mit einander

Fig. 236.

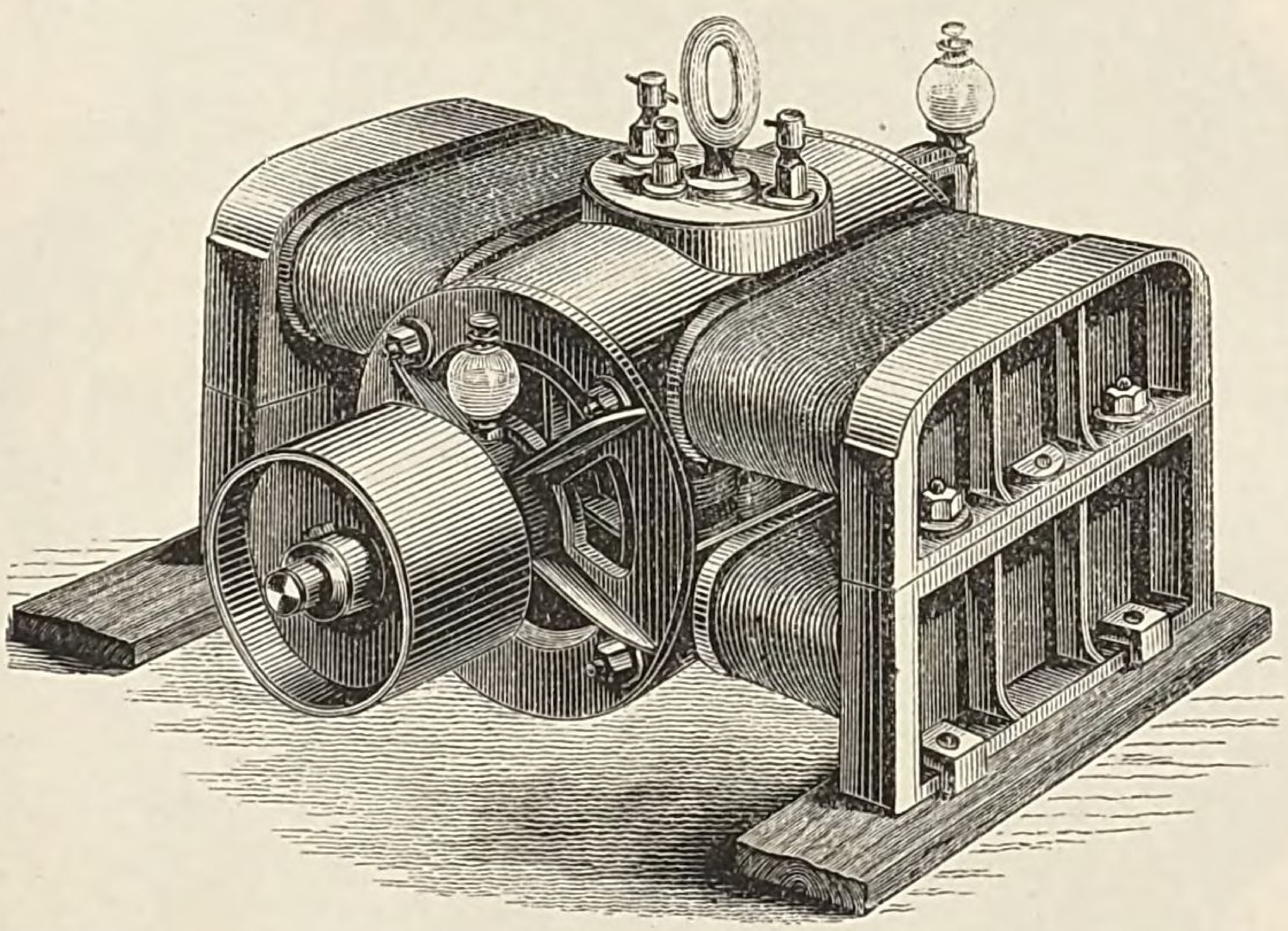


verbunden sind. Es gewährt diese Form der Maschine vor der Gramme-schen den Vortheil, dass sie solider und fester gebaut werden kann und daher nicht so leicht zerstört wird. Die äussere Ansicht der Bürgin'schen Maschine giebt Fig. 237.

In nichts Wesentlichem von der Gramme'schen Maschine abweichend ist die Maschine von Gülcher, welche wir nur deshalb anführen, weil sie speciell zum Betriebe der Gülcher'schen Lampen dient, die in einer von den übrigen Systemen abweichenden Anordnung ausgeführt werden. Gülcher macht den äusseren Widerstand (durch Nebeneinanderschaltung seiner Lampen) klein und muss daher auch den inneren Widerstand seiner Maschine möglichst klein machen.

Dann braucht er zur Erzeugung starker Ströme keine sehr hohe elektromotorische Kraft. Aus diesem Grunde sind bei der Maschine von Gülcher, welche Fig. 238 a. f. S. zeigt, die Elektromagnete mit starken Kupferseilen umwunden. Auf jeder Seite des Ringes sind 4 Elektromagnete angebracht, so dass jeder Pol zwei entgegengesetzte neben sich und einen entgegengesetzten sich gegenüber hat; die einander gegenüberliegenden Pole sind durch Polschuhe mit einander verbunden, so dass je ein nordmagnetisches und ein südmagnetisches Feld hinter einander liegen. Es entstehen also im Ganzen 4 magnetische Felder, von denen je zwei diametral gegenüberliegende zu gleicher Zeit auf den Induktor so wirken, wie in der einfachen Gramme'schen Maschine. Man kann also aus dem Ring vier Ströme durch den Collektor heraus-

Fig. 237.

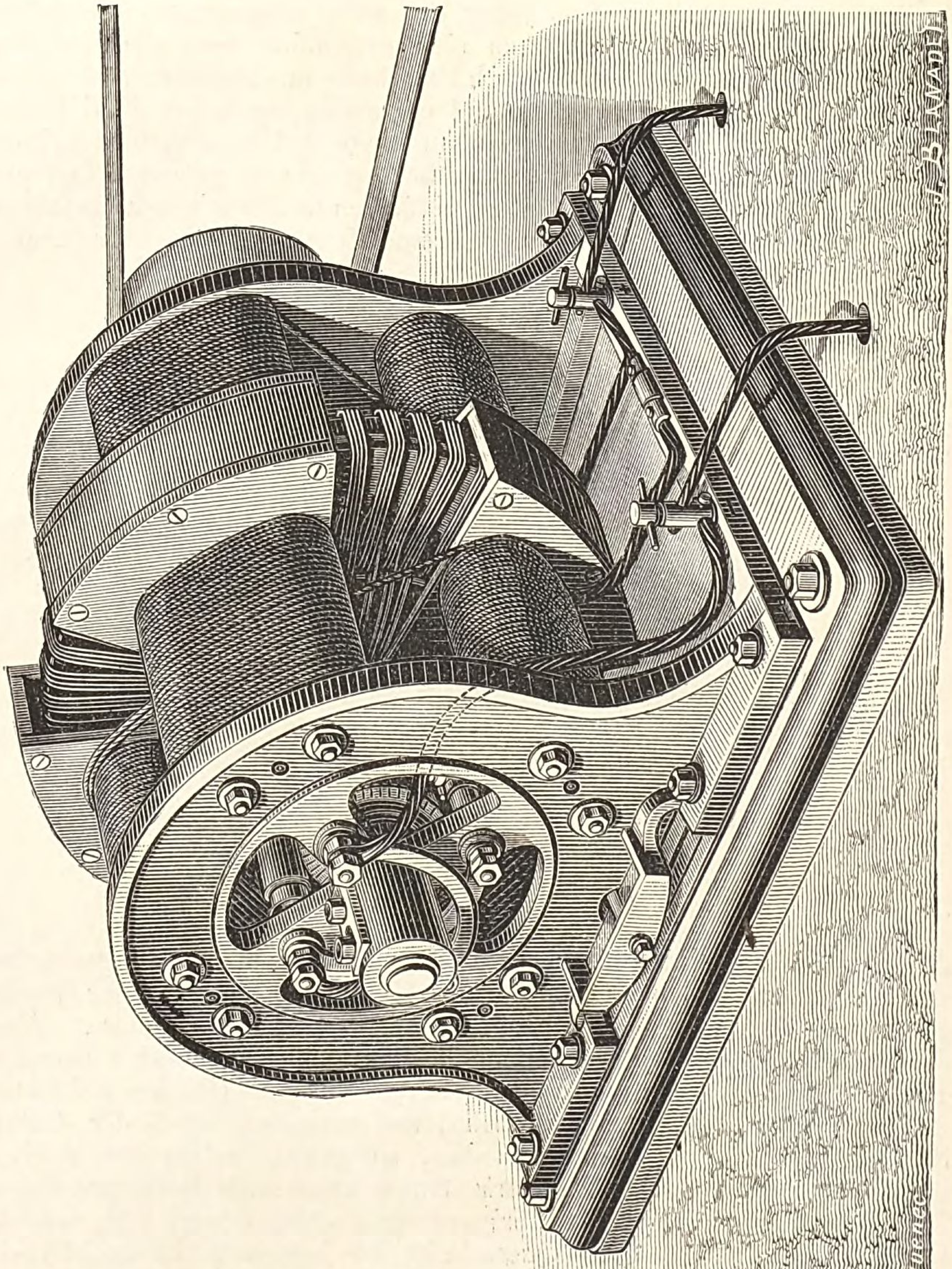


führen. Verbindet man nun die vier einzelnen Stromabtheilungen neben einander, nicht wie bei Gramme hinter einander, so wird der Widerstand des Induktors dadurch auf den 16ten Theil reducirt. Auch die Drahtseile der vier Elektromagnete sind neben einander verbunden. Dadurch ist der gesammte Widerstand der Maschine (Ring und Elektromagnete) auf 0,12 Siemens reducirt, und wenn nun auch der äussere Stromkreis geringen Widerstand hat, so genügt schon eine geringe elektromotorische Kraft, um starke Stromintensitäten hervorzubringen. Der Ring der Maschine ist übrigens sonst ebenso gewickelt, wie der Gramme'sche Ring. Sein Querschnitt ist jedoch nicht kreisförmig, sondern wird keilförmig nach innen spitzer, so dass die inneren, unbenutzten Drahtwindungen verhältnissmässig sehr geringen Widerstand besitzen.

Ebenso wie der Gramme'sche Ring im Einzelnen verändert ist, hat man auch die Hefner'sche Trommel für specielle Zwecke etwas modificirt, obwohl diese ihrer ganzen Natur nach wenige Veränderungen

gestattet. Von den Abkömmlingen der Siemens'schen Maschine erwähnen wir nur die Maschinen von Edison und Weston.

Fig. 238.



Die Edison'sche Dynamomaschine, obwohl sie ganz anders aussieht, unterscheidet sich in nichts Wesentlichem von der Siemens-

schen Maschine. In Fig. 239 ist eine Edison'sche Maschine abgebildet. Bei dieser stehen die beiden Elektromagnetschenkel EE aufrecht und

Fig. 239.

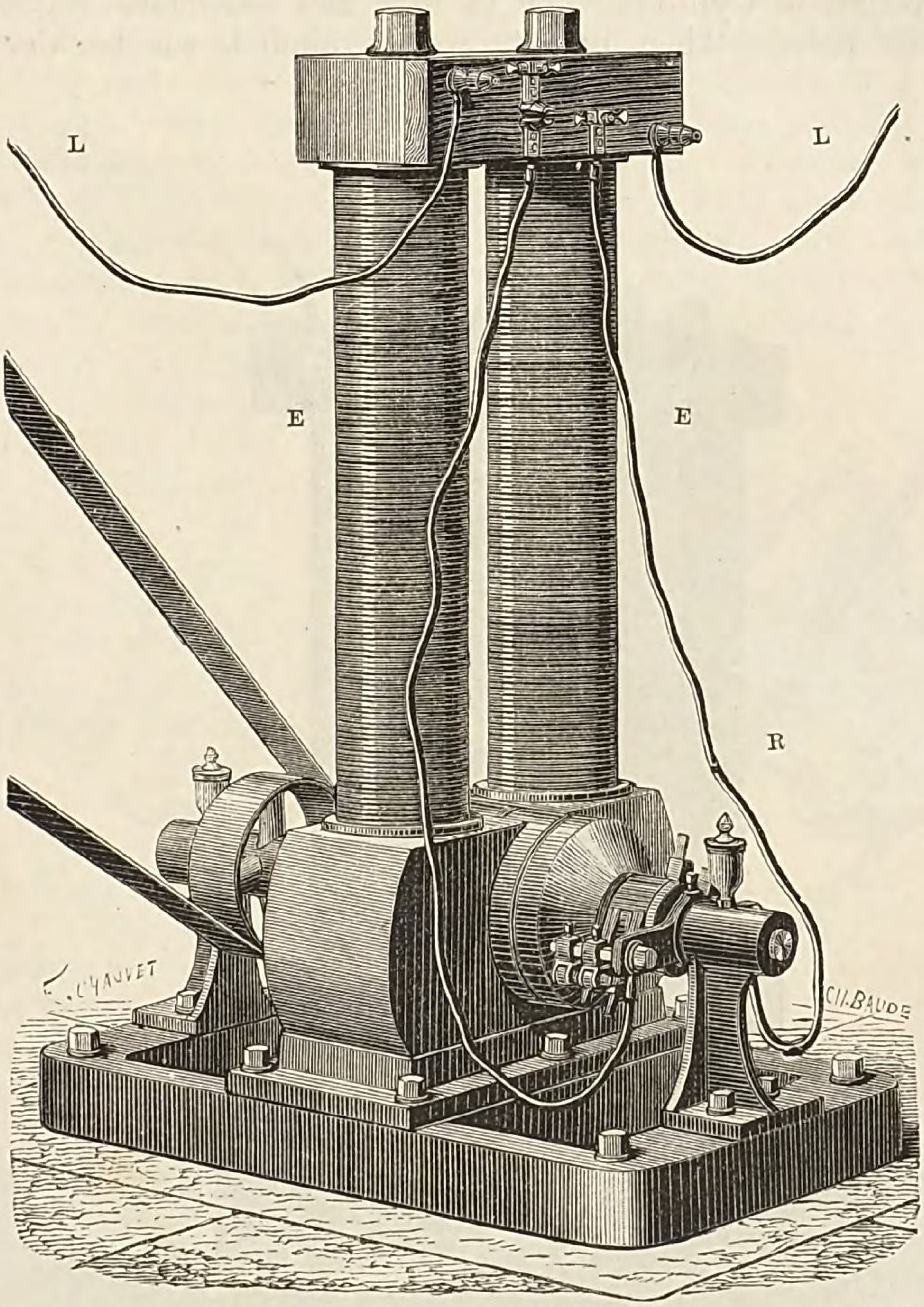
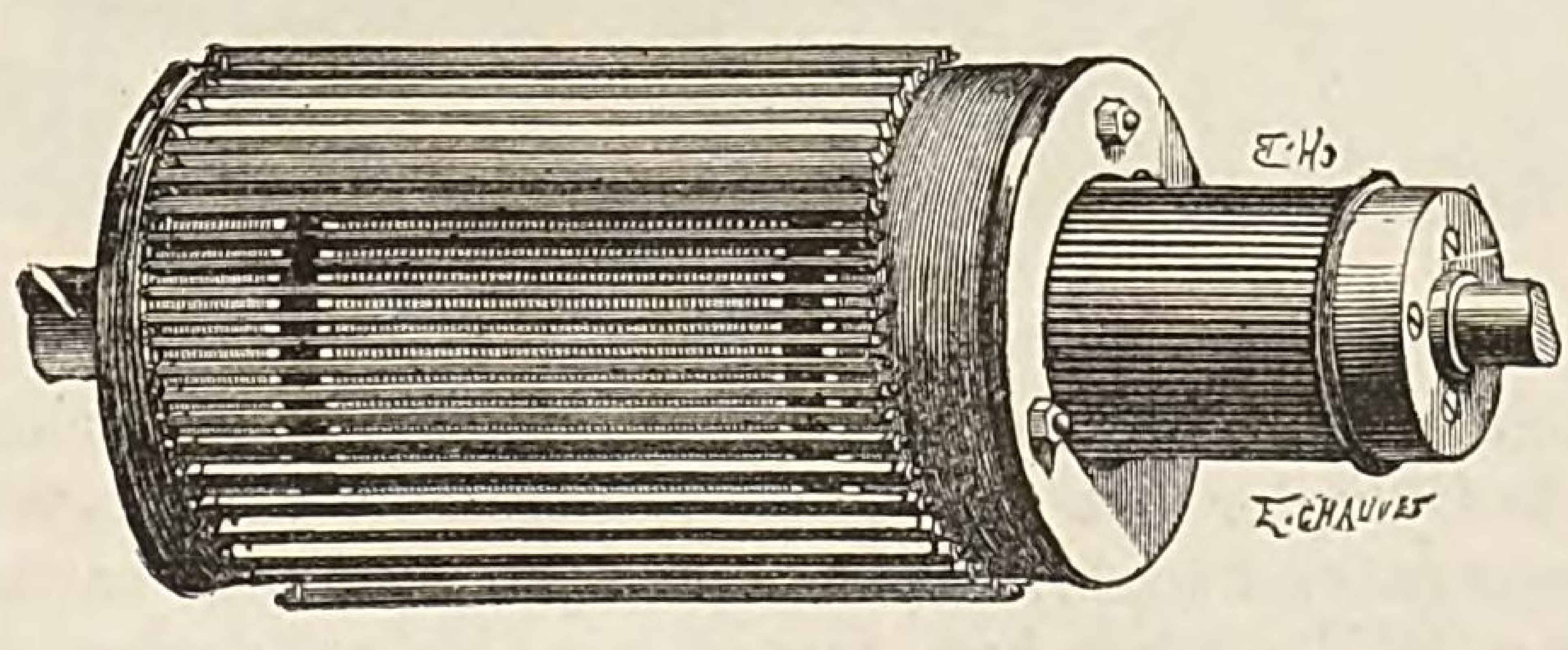


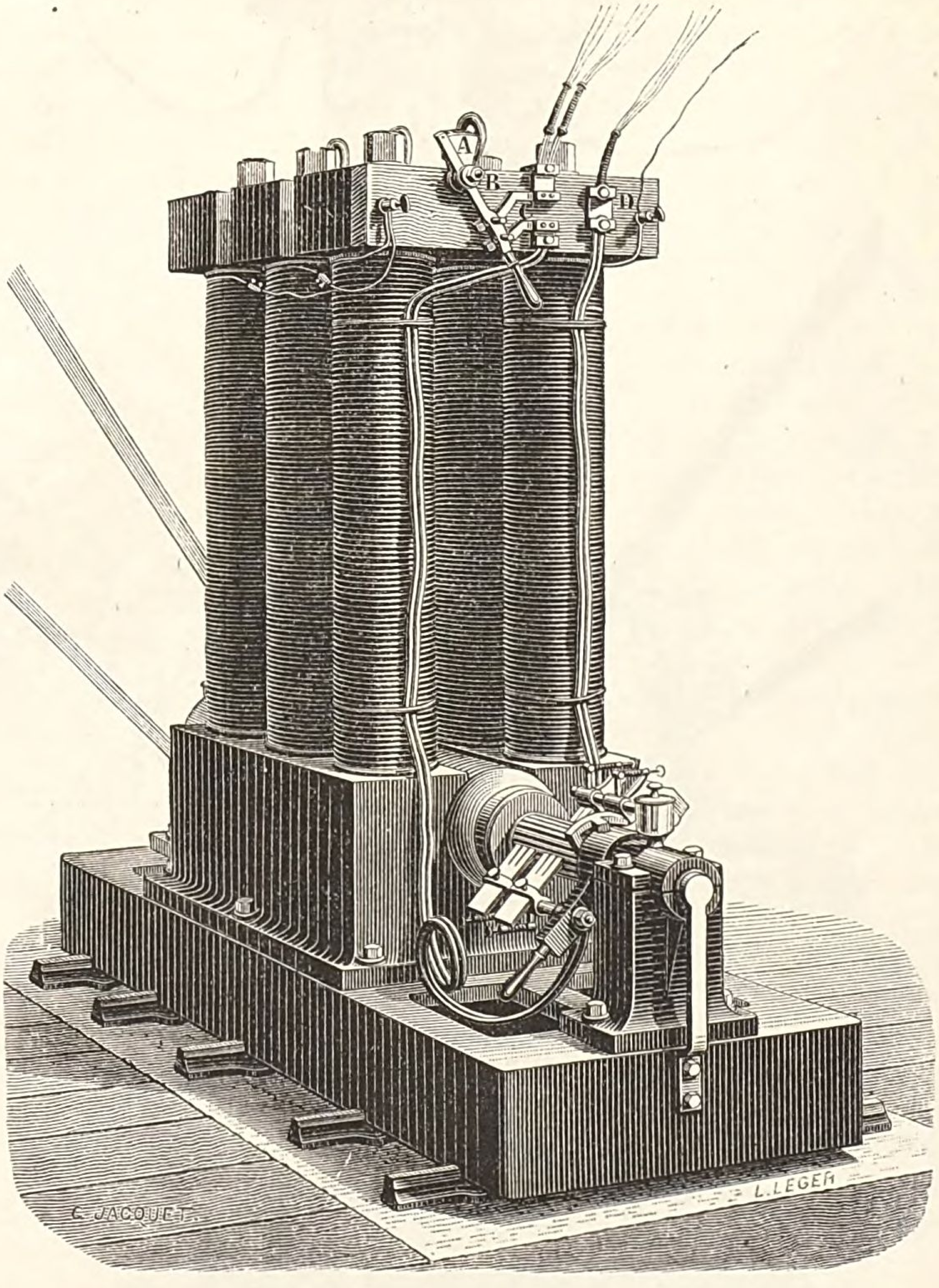
Fig. 240.



zwischen ihren ausgerundeten Polschuhen rotirt der Induktor, welcher im Wesentlichen so gebildet ist, wie die Hefner'sche Trommel. Bei

der Edison'schen Maschine, welche ganz speciell zur Erzeugung von Glühlicht construirt ist, kam es nun darauf an, den inneren Widerstand der Maschine möglichst klein zu machen. Zu diesem Zwecke ist der rotirende Cylinder, der in Fig. 240 besonders abgebildet ist, mit dicken Kupferstäben belegt, welche ähnlich wie bei der Hefner-

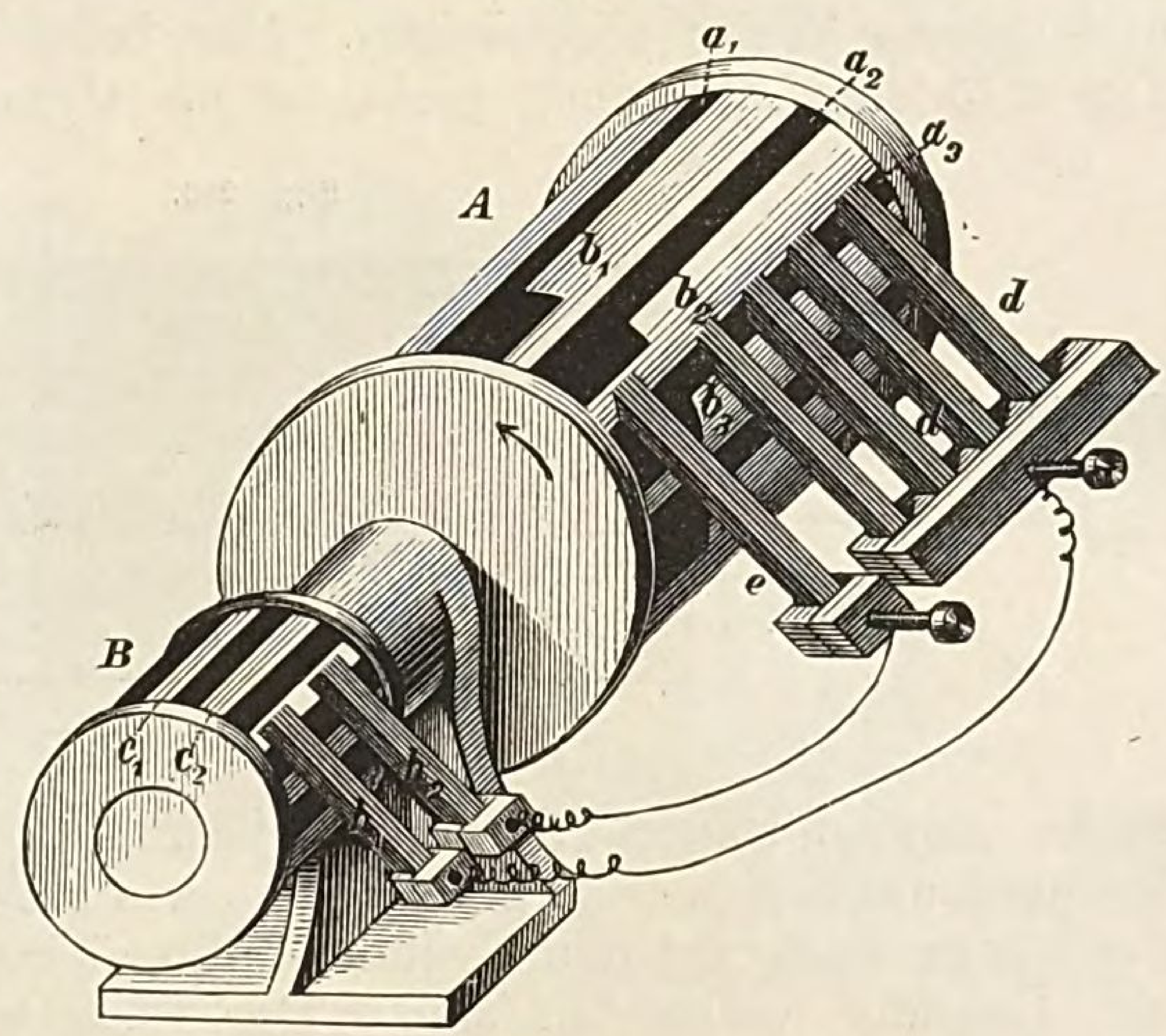
Fig. 241. (L. é.)



schen Wickelung durch den Collektor mit einander verbunden sind. Der rotirende Cylinder hat nur einen Widerstand von etwa 0,08 Ohm. Die Elektromagnetschenkel, deren Drahtumwindung natürlich einen viel grösseren Widerstand hat, werden in Folge dessen von Edison nicht direkt in den Stromkreis eingeschaltet, sondern sie liegen im Nebenschluss. Von den Bürsten des Collektors wird der Strom durch

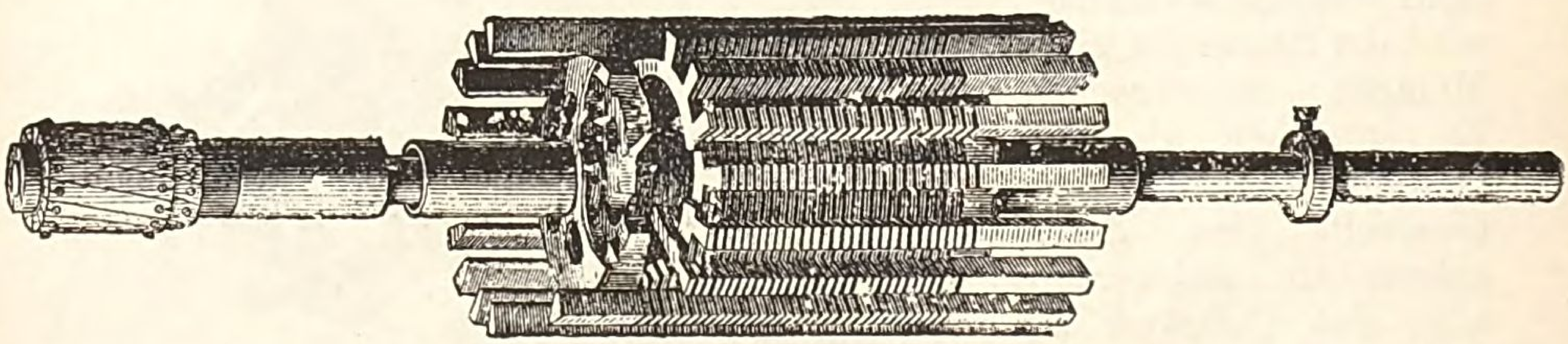
die in Fig. 239 gezeichneten Drähte R nach oben geführt, und dort theilt er sich, indem er einerseits durch die Elektromagnetdrähte, andererseits durch die äussere Leitung L L geht. Es hat diese Einrichtung im besonderen Falle manche Vortheile, welche im 4. Kapitel besprochen werden werden. Bei grösseren Dynamomaschinen verwendet Edison statt eines Elektromagnets deren mehrere, und um den Widerstand der vielen Drahtwindungen zu verringern, schaltet er dann die Umwindungen der einzelnen Magnete neben einander, wodurch, wie wir wissen, ihr Widerstand verringert wird. Eine solche Maschine mit 3 Elektromagneten zeigt Fig. 241. Eine sehr einfache und zweckmässige Aenderung trifft Edison bei seinen Maschinen an dem Collektor. Jeder Collektor besteht ja aus einer Reihe von Metallstücken, die von einander isolirt sind und auf denen die Bürsten schleifen. Stets wenn die Bürsten bei der Rotation des Collektors auf eine isolirende Stelle kommen, wird der Strom für einen Moment unterbrochen. Es entstehen also die Oeffnungsfunken, welche einerseits den Strom schwächen, andererseits aber den Collektor allmählich verbrennen und zerstören. Um diese Funkenbildung möglichst zu verringern, giebt Edison dem Collektor die Form, welche in Fig. 242 abgebildet ist. Der Hauptcollektor A besteht aus Kupferstreifen b_1 b_2 b_3, welche an ihrem Ende schmäler werden, so dass die Isolationsschichten a_1 a_2 a_3 (in der Figur schwarz gezeichnet) am Ende breiter werden. Die Bürsten d d schleifen auf den breiten Kupferstreifen und von ihnen aus geht der Strom durch die Elektromagnete und die Leitung. Die Bürste e dagegen steht etwas hinter den Bürsten d d zurück, schleift auf dem schmäleren Theil der Kupferstreifen und kommt also mit einem Theil des Streifens erst in Berührung, nachdem die Hauptbürsten ihn schon verlassen haben. Wenn also die Bürsten d d schon auf die isolirende Schicht übergetreten sind, geht der Strom noch durch e; es entsteht also an den Hauptbürsten kein Oeffnungsfunken. Neben dem Hauptcollektor A ist nun noch ein Nebencollektor B auf der Maschinenaxe angebracht, an welchem zwei Bürsten h_1 h_2 schleifen, die mit d und e verbunden sind, so dass der Strom an diesen und an e gleichzeitig unterbrochen wird. Der Oeffnungsfunke theilt sich also zwischen der Bürste e und diesen beiden Bürsten, wird also an jeder von ihnen schwächer und der ganze Collektor hält viel länger aus.

Fig. 242.



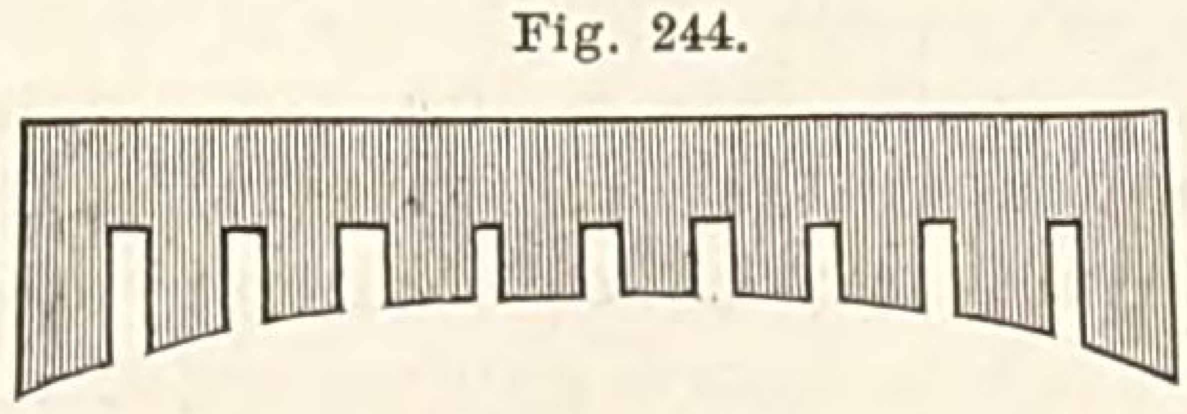
Dem anderen Abkömmling der Siemens'schen Maschine, der Maschine von Weston, liegt die Hauptabsicht zu Grunde, eine Erhitzung der Maschine möglichst zu vermeiden. Alle Maschinen, die schnell rotiren und von starken Strömen durchflossen werden, erhitzen sich erstens durch gewöhnliche Reibung, zweitens durch die Joule'sche Wärme, welche die Ströme in den Drähten erzeugen, ferner aber dadurch, dass in den Magneten durch das fortwährende Ummagnetisiren Wärme entsteht, und dass die Ströme, welche in den bewegten Theilen entstehen, die Foucault'schen Ströme (S. 188), sich in Wärme umsetzen. Weston hat nun darauf Bedacht genommen, dass einerseits die Ursachen dieser Erwärmung möglichst verringert werden, und dass andererseits durch die Maschine, während sie im Gange ist, stets ein kräftiger Luftstrom hindurchstreicht, welcher sie fortwährend abkühlt, wenn sie sich erwärmt. Aus diesem Grunde ist die Hefner'sche Trommel hier in folgender Weise eingerichtet. Der Induktor, von dessen Eisenkern Fig. 243 eine Abbildung giebt, ist ein Cylinder, der auf seiner Ober-

Fig. 243.



fläche rinnenförmige Einschnitte hat. In diesen Rinnen liegen die Drahtwindungen, welche ganz ebenso wie bei der Hefner'schen Trommel der Länge nach auf den Cylinder aufgewickelt und durch den Collektor mit einander verbunden sind. Der Eisencylinder ist innen hohl und aus einer Reihe von ausgezackten Scheiben zusammengesetzt, so dass zwischen den Scheiben sich eine grosse Anzahl von Oeffnungen befinden, durch welche die Luft hindurchstreichen kann, um sowohl das Eisen als die Drähte zu kühlen. Einen ähnlichen Zweck verfolgt die Construktion der Polschuhe. Die Elektromagnete (bei neueren Constructionen 6 an der Zahl) stehen ebenso wie bei der Siemens'schen Maschine derart, dass ihre Nordpole alle zusammen einander gegenüberstehen und durch einen Polschuh verbunden sind, und ebenso die Südpole. Die Polschuhe umfassen aber den Induktor nicht kreisförmig wie bei Siemens, sondern ellipsenförmig und sind nicht massiv, sondern bestehen aus einer Reihe von Zungen, welche von verschiedener Grösse und von einander durch Luft getrennt sind, wie Fig. 244 zeigt.

Fig. 244.



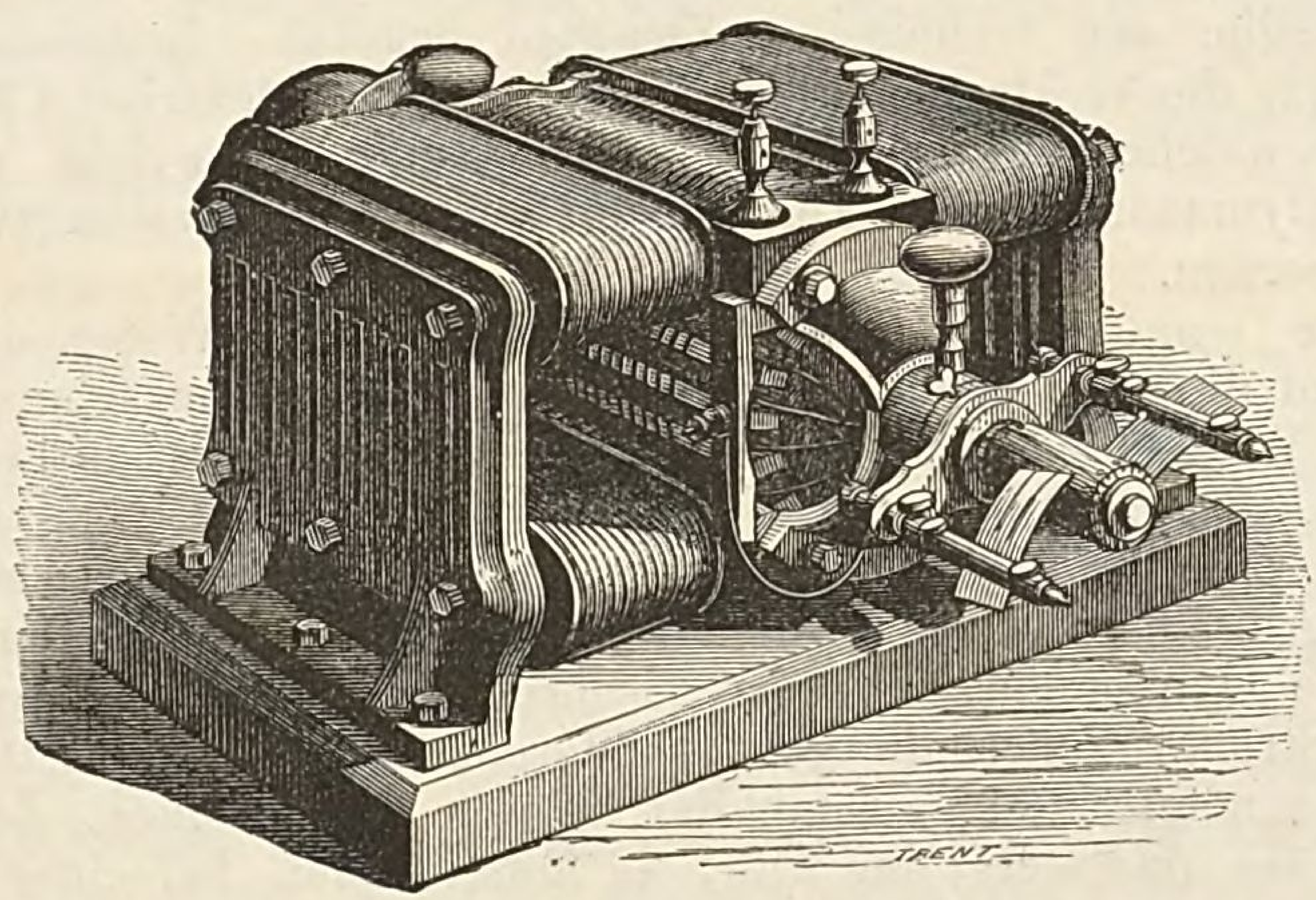
Ausser anderen angeblichen Vortheilen hat diese Form der Polschuhe den unläugbaren Vorzug, dass sie der Luft den ungehinderten Durchzug gestattet. Die Maschine von Weston hat nach alledem eine

Form, welche aus der Fig. 245 erkannt werden kann. Im Ganzen ist diese Maschine grade wegen ihrer guten Kühlung eine recht brauchbare.

Der dritte Typus der Dynamomaschinen, die Maschine von Brush, hat bisher noch keine Nachahmung resp. Veränderung erfahren, was auch bei ihrer ganz speciellen Construktion kaum anzugehen scheint.

Mit dieser speciellen Beschreibung einer Anzahl von Dynamomaschinen konnte natürlich durchaus keine Vollständigkeit erstrebt werden. Es sind die Maschinen in so mannigfaltigen Formen construirt, dass eine vollständige Aufzählung ein besonderes Werk erfordert. Und fortwährend noch werden neue Maschinen für specielle Zwecke construirt und neue geringfügige Aenderungen an ihnen angebracht. Es ist selbstverständlich, dass bei dieser Ueberproduktion sehr viel mittelmässiges Gut unterläuft. Keine von allen den Maschinen hat gegenüber dem Siemens'schen Dynamoprincip und dem Gramme'schen Ring

Fig. 245.



oder dem Hefner'schen Cylinder eine wesentliche Neuerung aufzuweisen. Mit der Kenntniss der Maschinen von Gramme, Siemens und Brush ist jede andere bisher construirte und praktisch anwendbare Maschine leicht zu verstehen.

Alle Dynamomaschinen geben bei rascher Umdrehung des Induktors Ströme von sehr erheblicher elektromotorischer Kraft. Denn nach S. 192 hängt ja die inducirte elektromotorische Kraft ausser von der Anzahl der Umwindungen direkt ab von der Geschwindigkeit der Drehung des Induktors. Um sehr rasche Umdrehungen hervorzubringen, werden die Dynamomaschinen für technische Zwecke durch Dampfmaschinen oder Gasmaschinen oder Wassermotoren in Bewegung gesetzt. Man verbindet dazu das Schwungrad der Dampfmaschine entweder direkt oder vermittelst einer Transmission, meistentheils durch Riemen, mit einer an der Dynamomaschine angebrachten Riemenscheibe, welche an allen in diesem Kapitel abgebildeten Dynamomaschinen zu sehen ist. Einige Dynamomaschinen sind auch so eingerichtet, dass ihre Axe zugleich die Axe der treibenden (rotirenden) Dampfmaschine ist, so dass also

gar keine Kuppelung der beiden Maschinen stattzufinden braucht. Nach dem äusseren Widerstand, welcher von den Strömen durchflossen wird, muss sich der innere Widerstand der Maschine in jedem speciellen Falle richten. Zu dem äusseren Widerstand gehören auch die Leitungsdrähte. Für diese wird man dicke Drähte wählen, am besten aus Kupfer, weil dadurch ihr Widerstand möglichst verringert wird. In dünnen Drähten würde zu viel Wärme nutzlos entstehen, der Strom würde zu sehr geschwächt werden und die Gefahr der Erhitzung und des Schmelzens wäre eine grosse. Je grösser die Entfernung ist, bis in welche die Ströme fortgeleitet werden sollen, desto grösser muss im Allgemeinen der Querschnitt der Leitungsdrähte gewählt werden, wenn der Widerstand unbedeutend bleiben soll. Natürlicher Weise kann man statt eines dicken Drahtes mehrere dünne Drähte neben einander anwenden, so dass der Strom durch alle gleichzeitig hindurchgeht.

Die starken Ströme der Dynamomaschinen nun werden zu einer ganzen Reihe von technischen Zwecken benutzt. Insbesondere sind es bis jetzt die elektrische Beleuchtung und die elektrische Kraftübertragung, welche starke Ströme bedürfen und für welche daher die aus den Dynamomaschinen kommenden Ströme ganz vorzugsweise verwendet werden.

Eine eingehende Untersuchung, in welcher Weise die Stromstärke und die elektromotorische Kraft einer Dynamomaschine mit dem äusseren Widerstand des Stromkreises sich ändert, ist bisher nur für einige Maschinen, die Gramme'sche und die Siemens'sche, exakt durchgeführt. Die bei diesen Maschinen erhaltenen Resultate lassen sich aber im Allgemeinen auf Dynamomaschinen aller Art übertragen.

Eine Dynamomaschine erregt ihre Elektromagnete durch ihren eigenen Strom. Innerhalb gewisser Grenzen nimmt die Stärke eines Elektromagneten stetig zu mit der Stärke des Stromes, der ihn erregt. Wäre das stets der Fall, so müsste man bei einer Dynamomaschine stets, d. h. bei jeder beliebigen Geschwindigkeit der Drehung, Ströme erhalten, deren Stärke bis ins Unendliche wächst. Denn der stärkere Magnetismus erzeugt immer stärkere Ströme und die stärkeren Ströme erzeugen wieder stärkeren Magnetismus. Thatsächlich aber kommt der wirksame Magnetismus bald zu einer Grenze; und sobald diese Grenze erreicht ist, wächst die Stromstärke (bei bestimmter Tourenzahl und bestimmtem äusseren Widerstand) nicht weiter. Der wirksame Magnetismus einer Maschine, d. h. derjenige Magnetismus, welcher faktisch inducirend auf die Induktordrähte wirkt, setzt sich nun zusammen aus dem Magnetismus der Elektromagnete und aus dem Magnetismus des Eisenkerns des Induktors. Bei beiden, insbesondere aber bei dem letzteren, treten sehr complicirte Erscheinungen auf. Der Eisenring der Gramme'schen Maschine wird hauptsächlich magnetisch in Folge der magnetischen Induktion von den ihn umfassenden Polen. Aber ausserdem fliessen ja um diesen Eisenkern auch die Ströme in den Drahtwindungen und diese suchen den Eisenring zum Theil in entgegengesetzter Weise zu magnetisiren. Gerade diese letztere Einwirkung ist es, durch welche der wirksame Magnetismus sehr bald eine Grenze und

daher die Ströme sehr bald eine bestimmte Stärke erreichen. Um eine Vorstellung von der Stärke der Ströme zu erhalten, sind im Folgenden einige Zahlen angegeben, welche aus den Versuchen von Fröhlich sich ergeben. Fröhlich stellte seine Versuche an einer Siemens'schen Maschine an, die er mit verschiedenen Wickelungen untersuchte. Bei den Versuchen, aus denen die folgenden Zahlen sich ergeben, waren auf der Hefner'schen Trommel 288 Umwindungen mit zusammen 0,145 Siemens Widerstand, während die Elektromagnete mit 456 Umwindungen versehen waren, die zusammen 0,290 Siemens Widerstand hatten. Der Gesammtwiderstand der Maschine war so 0,435 Siemens. Nun wurden bestimmte äussere Widerstände in den Stromkreis der Maschine eingeschaltet und zugleich die Tourenzahl variirt. Gemessen wurde die Stromstärke und die elektromotorische Kraft. Aus einer Interpolation von Fröhlich's Zahlen ergiebt sich bei einem Gesammtwiderstand des Stromkreises (Trommel, Elektromagnet und äusserer Stromkreis) von 1,5 Siemens (1,43 Ohm) folgender Zusammenhang zwischen Tourenzahl, Stromstärke (in Ampères) und elektromotorischer Kraft (in Volts):

Tourenzahl in der Minute.	Stromstärke in Ampères.	Elektromot. Kraft in Volts.
270	34,4	49,5
330	44,1	64,5
390	53,1	75,8
450	60,0	86,5
510	66,7	95,2
570	73,5	104,6
630	79,1	113,6
690	83,7	119,9

Sowie der äussere Widerstand vergrössert wird, nimmt die Stromstärke und die elektromotorische Kraft bedeutend ab. Ist z. B. der äussere Widerstand bei derselben Wickelung der Maschine statt 1,065 Siemens jetzt 2,565 Siemens, also der gesammte Widerstand des Stromkreises 3 Siemens, so ergeben sich folgende zusammengehörige Zahlen für Tourenzahl, Stromstärke und elektromotorische Kraft:

Tourenzahl in der Minute.	Stromstärke in Ampères.	Elektromot. Kraft in Volts.
270	sehr klein	
330	11,3	32,3
390	17,9	51,2
450	27,1	77,5
510	32,8	93,8
570	37,3	106,7
630	41,8	119,5
690	47,5	135,7

Bei diesen Versuchen wurden die Stromstärken mit dem Siemensschen Elektrodynamometer (S. 170) gemessen. Die Widerstände wurden mittelst der Wheatstone'schen Brücke (S. 78) bestimmt, und daraus ergaben sich die elektromotorischen Kräfte nach dem Ohmschen Gesetz.

Der in einem Stromkreis herrschende elektrische Effekt lässt sich nach S. 102 leicht in Pferdekräften ausdrücken. Die Grösse

$$\frac{\text{Stromstärke in Ampères} \times \text{Elektrom. Kraft in Volts}}{736}$$

giebt diesen Effekt, d. h. die Arbeit, welche der galvanische Strom in jeder Sekunde leisten könnte, in Pferdekräften. Danach ist bei dem Gesammtwiderstand von 1,5 Siemens und von 3 Siemens der Effekt des galvanischen Stromes bei den verschiedenen Geschwindigkeiten folgender:

Tourenzahl in der Minute.	Effekt bei 1,5 Siem. Widerstand in HP.	Effekt bei 3 Siem. Widerstand in HP.
270	2,3	—
330	3,9	0,5
390	5,2	1,3
450	7,0	2,9
510	8,7	4,4
570	10,5	5,5
630	12,2	6,8
690	13,4	8,8

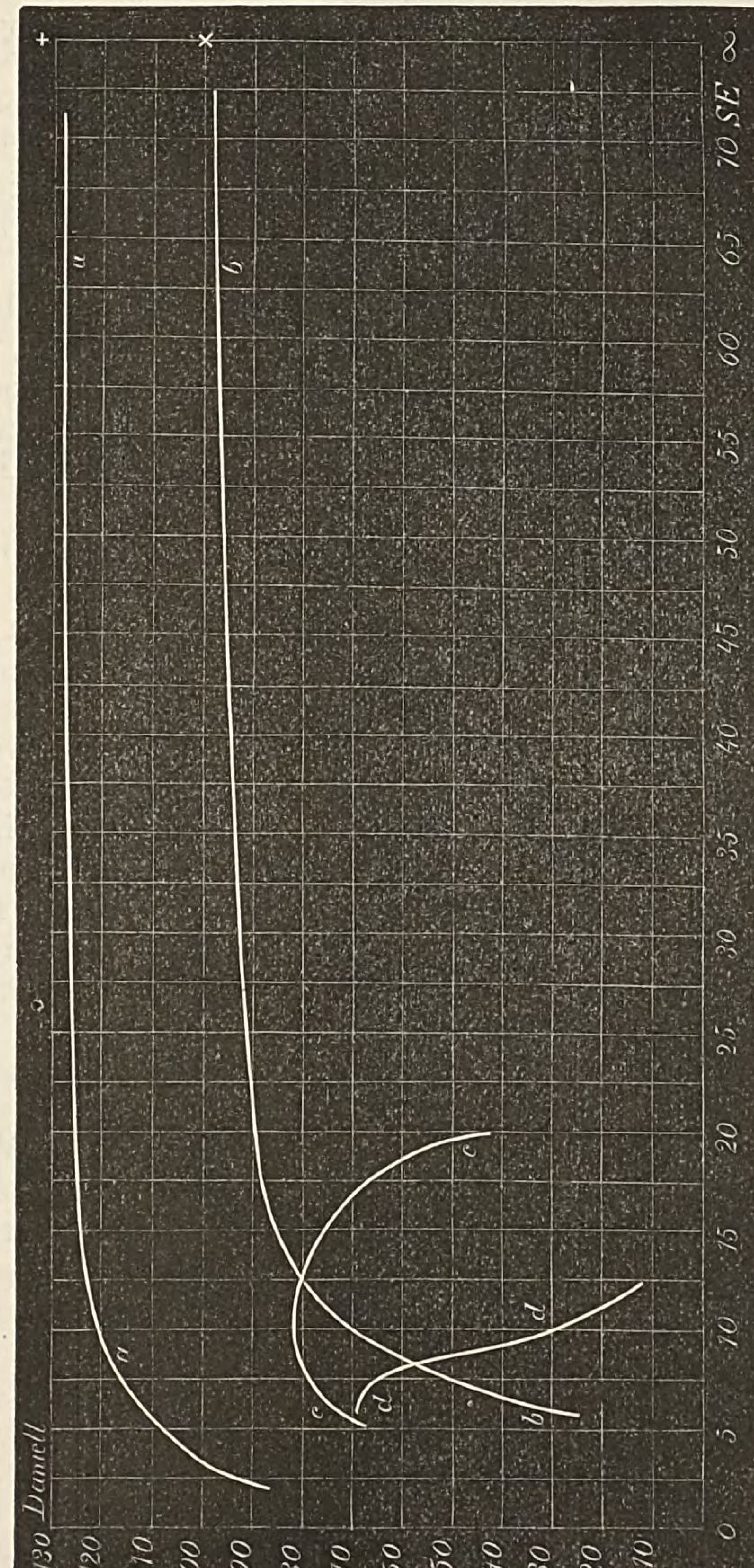
Selbstverständlich muss die auf die Maschine in jeder Sekunde aufgewendete Arbeit noch grösser sein als diese im Stromkreis enthaltene Energie. Denn der Motor hat erstens noch die mechanische Reibung der Maschinentheile zu überwinden; zweitens aber wird noch ein nicht unerheblicher Bruchtheil der Arbeit sofort in Wärme verwandelt, theilweise durch das fortwährende Ummagnetisiren des Ringes, theilweise aber auch durch die Foucault'schen Ströme, welche in bewegten Metallmassen stets entstehen, wenn in deren Nähe Ströme fliessen. Gerade diese Foucault'schen Ströme absorbiren einen ganz beträchtlichen Theil der gesammten aufgewendeten Arbeit.

Von wesentlicher Bedeutung für die Kenntniss von Maschinen ist es, zu wissen, in welcher Weise sich die Potentialdifferenz an den beiden Endpunkten der Drähte in der Maschine mit dem äusseren Widerstand ändert. Der äussere Widerstand wird an die Endklemmen der Maschine angelegt und der Strom, der durch die äussere Leitung fliesst, wird ja grade durch die Potentialdifferenz an diesen Endklemmen hindurchgetrieben. Man nennt diese Potentialdifferenz gewöhnlich die Klemmspannung. Die Klemmspannung ändert sich nun mit dem äusseren Widerstand; aber die verschiedenen Schaltungsweisen der Dynamomaschinen bringen grade darin wichtige Verschiedenheiten hervor.

1) Nehmen wir erst eine Maschine, bei der die Magnete durch einen besonderen Strom von aussen erregt werden, so dass also der Magnetismus unabhängig von dem äusseren Widerstand bleibt. Dann ist die elektromotorische Kraft der Maschine im Wesentlichen constant. Sind die Klemmen durch einen ganz geringen Widerstand verbunden, so ist die Differenz ihrer Potentiale sehr klein. Je grösser der äussere Widerstand wird, desto mehr nimmt die Klemmspannung zu und bei unendlich grossem Widerstand, d. h. bei offenem Strom ist die Klemmspannung gleich der elektromotorischen Kraft. Dieses Verhalten ist durch die Kurve a in Fig. 246 charakterisirt. Darin sind

auf der horizontalen Linie eine Reihe von Widerständen von 0 bis 70 Siemens gezeichnet und auf der vertikalen Linie eine Reihe von Potentialdifferenzen von 0 bis 130 Daniell. Zu jedem beliebigen äusseren Widerstand findet man die zugehörige Klemmspannung, indem man die Grösse der vertikalen Linie bis zu dem zugehörigen Punkte der Kurve a misst. Die Klemmspannung nimmt also bei wachsendem äusseren Widerstand stets zu, erst rasch, dann langsamer.

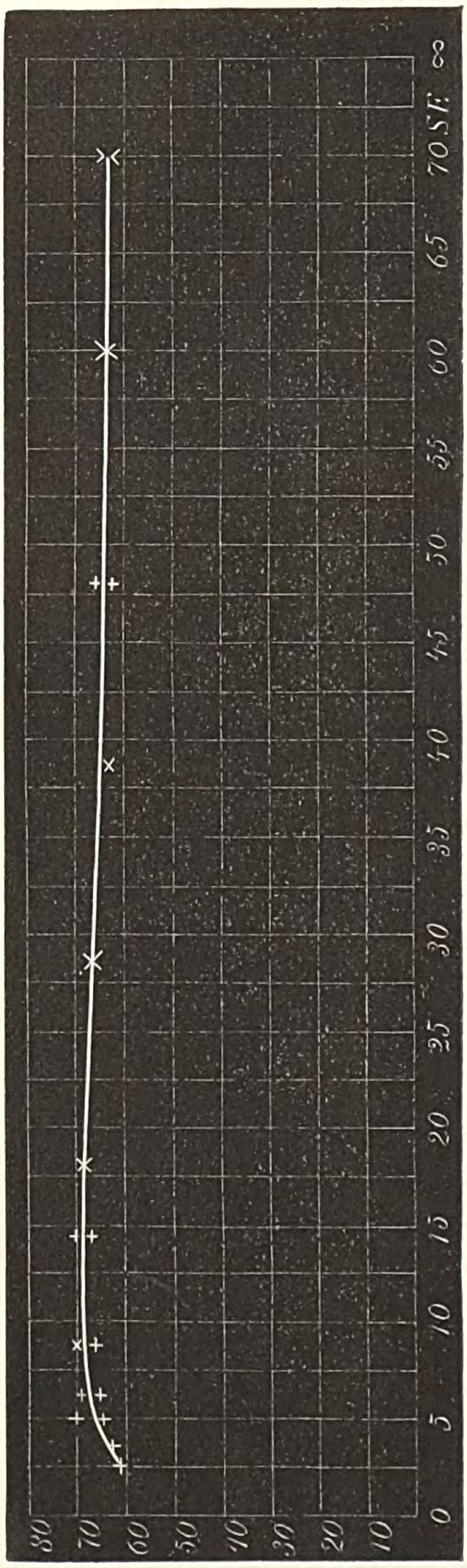
Fig. 246.



2) Nehmen wir zweitens eine Maschine, bei der die Magnete im Nebenschluss liegen, also durch einen Zweigstrom erregt werden. Hier tritt dasselbe Verhalten ein und zwar im verstärkten Masse. Denn wenn der äussere Widerstand sehr klein ist, so sind die Magnete sehr schwach, daher die elektromotorische Kraft sehr klein und in Folge dessen um so mehr die Klemmspannung sehr klein. Wird dagegen der äussere Widerstand immer grösser, so nimmt die Stärke der Magnete stets zu, da dann ein immer grösserer Theil des Stromes durch die Magnete fliesst, und in Folge dessen wächst auch die elektromotorische Kraft und die Klemmspannung. Dieses Verhalten ist durch die Kurve b unserer Figur charakterisirt. Auch hier nimmt die Klemmspannung bei wachsendem äusseren Widerstand stets zu, erst rasch, dann langsamer.

3) Drittens betrachten wir eine Maschine, welche in gewöhnlicher Weise dynamoelektrisch geschaltet ist. Hierbei ist bei sehr geringem äusseren Widerstand zwar die elektromotorische Kraft sehr gross, die Klemmspannung aber klein. Mit wachsendem Widerstande wächst anfangs auch die Klemmspannung. Aber dann wird durch den schwächer werdenden Strom auch der wirksame Magnetismus und damit die elektromotorische Kraft kleiner und daher nimmt auch die Klemmspannung wieder ab, die bei ungeschlossener Maschine schliesslich zu Null wird. Die Curve, welche die Klemmspannung in diesem Falle darstellt, ist die mit c bezeichnete in der Figur, oder bei einer anderen Bewickelung der Magnetschenkel die mit d bezeichnete. Die Klemmspannung nimmt bei wachsendem Widerstand erst ein wenig zu und dann stetig ab.

Fig. 247.



In diesem Falle ist also das Verhalten der Klemmspannung ziemlich das entgegengesetzte von dem im vorigen Falle. Man wird also schon von vornherein sagen können, dass, wenn man die Magnete sowohl durch den Hauptstrom als durch einen Zweigstrom erregt, wie es in der Compoundschaltung geschieht, man erreichen können wird, dass die Klemmspannung sich fast gar nicht ändert, wenn auch der äussere Widerstand starkt variirt. Dies ist in der That der Fall und grade aus diesem Grunde werden die Maschinen für bestimmte Zwecke mit Compoundschaltung construirt.

4) Bei der Compoundschaltung stellt die Curve in Fig. 247 die Abhängigkeit der Klemmspannung von dem äusseren Widerstand dar. Die Curve ist fast ganz grade, d. h. die Klemmspannung ist für alle äusseren Widerstände ziemlich dieselbe.

Von der Klemmspannung und der Stromstärke hängt in jedem Falle der elektrische Effekt ab, der im äusseren Stromkreise herrscht. Grade die Vorgänge im äusseren Stromkreis, z. B. das Brennen von Lampen, oder galvanoplastische Vorgänge, sind es, welche die nützliche Arbeit der Dynamomaschinen ausmachen. Wenn man daher den Effekt im äusseren Stromkreis mit der gesammten Arbeit pro Sekunde vergleicht,

welche man zum Drehen der Dynamomaschine verwenden muss, so bekommt man ein direktes Mass für die Güte der Construktion der Maschine. Man nennt auch dieses Verhältniss

$$\frac{\text{elektrischer Effekt im äusseren Stromkreis}}{\text{gesammter aufgewendeter Effekt}}$$

das absolute Güteverhältniss der Maschine. Dies ist also eine für die Beurtheilung der Maschine sehr wesentliche Grösse.

Nach Versuchen nun, die theils in Paris, theils in München angestellt wurden, wächst dieses Güteverhältniss für jede Maschinenart mit der Grösse der Maschine. In der folgenden Tabelle ist dieses Güteverhältniss für eine Anzahl Maschinen in Procenten angegeben, wobei zur Bezeichnung der Grösse der Maschine zugleich bemerkt ist, für wie viele elektrische Lampen sie bestimmt ist.

Das absolute Güteverhältniss in Procenten.

Maschine	von	Gramme	für	1 Lampe	43 %
„	„	„	„	3 Lampen	51 %
„	„	„	„	5 Lampen	65 %
„	„	Siemens	„	1 Lampe	57 %
„	„	„	„	2 Lampen	60 %
„	„	„	„	5 Lampen	63 %
„	„	Bürgin	„	2 Lampen	58 %
„	„	„	„	3 Lampen	63 %
„	„	Schuckert	„	7 Lampen	64 %
„	„	Weston	„	10 Lampen	77 %
„	„	Brush	„	16 Lampen	72 %
„	„	„	„	40 Lampen	73 %

Diese Zahlen zeigen also an, wie viel Procent der aufgewendeten Arbeit im äusseren Stromkreis nutzbar verwendet werden können.

Ein anderes Vergleichungsobjekt für verschiedene Maschinen bietet die Frage, wie sich der gesammte elektrische Effekt der Maschine zur gesammten aufgewendeten Arbeit verhält, oder mit anderen Worten, wie viel von der aufgewendeten Arbeit überhaupt in Elektricität umgewandelt wird. Dieses Verhältniss, das man das Umwandlungsverhältniss nennen kann, ergiebt sich nun für die verschiedenen Maschinen in Procenten folgendermassen:

Maschine	von	Gramme	für	1 Lampe	92 %
„	„	„	„	5 Lampen	86 %
„	„	Siemens	„	1 Lampe	86 %
„	„	„	„	2 Lampen	92 %
„	„	„	„	5 Lampen	94 %
„	„	Bürgin	„	2 Lampen	95 %
„	„	„	„	3 Lampen	89 %
„	„	Schuckert	„	7 Lampen	85 %
„	„	Weston	„	10 Lampen	95 %
„	„	Brush	„	16 Lampen	85 %
„	„	„	„	40 Lampen	83 %
„	„	Jürgensen	„	1 Lampe	97 %

Es werden also durchschnittlich 90 % der Arbeit in elektrische Energie umgesetzt und daraus kann man sofort die Ueberlegenheit der Elektricitätserzeugung in Dynamomaschinen vor der in galvanischen Elementen ersehen.

In den galvanischen Elementen wird immer die negative Elektrode, Zink, in der Säure aufgelöst. Jedes Quantum von elektrischer Energie, das man in einem geschlossenen galvanischen Element erhält, ist hervorgebracht durch die Verbrennung einer äquivalenten Menge Zink in Schwefelsäure. Bei den Dynamomaschinen dagegen werden die elektrischen Ströme hervorgebracht durch die Drehung des Induktors, durch die Arbeit, welche man auf die Maschine aufwendet. Dreht man sie durch eine Gasmaschine oder Dampfmaschine, so werden die elektrischen Ströme indirekt hervorgebracht durch die Verbrennung der Kohlen oder des Leuchtgases, welche in den Arbeitsmaschinen zur Verwendung kommen. Es lässt sich eine einfache Rechnung anstellen, welche das Verhältniss der Kosten von elektrischen Strömen, die durch galvanische Elemente erzeugt werden, vergleichen lässt mit denjenigen, welche durch Dynamomaschinen erzeugt werden, die durch Dampf- oder Gasmaschinen getrieben werden. Man kann nämlich diese Kosten vergleichen, wenn man annimmt, dass alle Elektricität, welche eine Dynamomaschine liefert, und ebenso alle, welche ein galvanisches Element liefert, durch den Widerstand in Wärme verwandelt wird, und dann diese Wärmemengen vergleicht und ihre bezüglichen Kosten ermittelt. Ein Kilogramm Zink liefert, wenn es vollständig verbrennt, eine Wärmemenge von 550 Calorieen (Wärmeeinheiten). Nehmen wir an, dass diese Wärme vollständig in Elektricität umgesetzt wird, was auch nahezu der Fall sein wird. Ein Kilogramm Kohle dagegen giebt bei der Verbrennung 8000 Calorieen. Von diesen 8000 Calorieen werden aber nur etwa 6 Procent in den Dampfmaschinen faktisch verwendet, also 480 Calorieen, und von diesen 480 Calorieen, resp. ihrer entsprechenden Arbeit, werden etwa 10 Procent auf die Ueberwindung der Reibung der Maschine und auf unproduktive Erwärmung verwendet, während 90 Procent, also etwa 430 Calorieen in Elektricität verwandelt werden. Ein Kilogramm Zink liefert also mittelst Elektricität eine Menge Energie, welche 550 Calorieen, ein Kilogramm Kohle eine solche, welche 430 Calorieen entspricht. Nun ist aber der Preis von Zink ungefähr 15mal so hoch als der von Kohle, so dass dieselbe elektrische Energiemenge durch Kohlenverbrennung für nur etwa den 13ten Theil der Kosten hergestellt wird, als durch Verbrennung von Zink.

Damit ist die Ueberlegenheit der Dynamomaschinen über die galvanischen Elemente für Anwendungen im Grossen constatirt.

2. Kapitel.

Die Akkumulatoren.

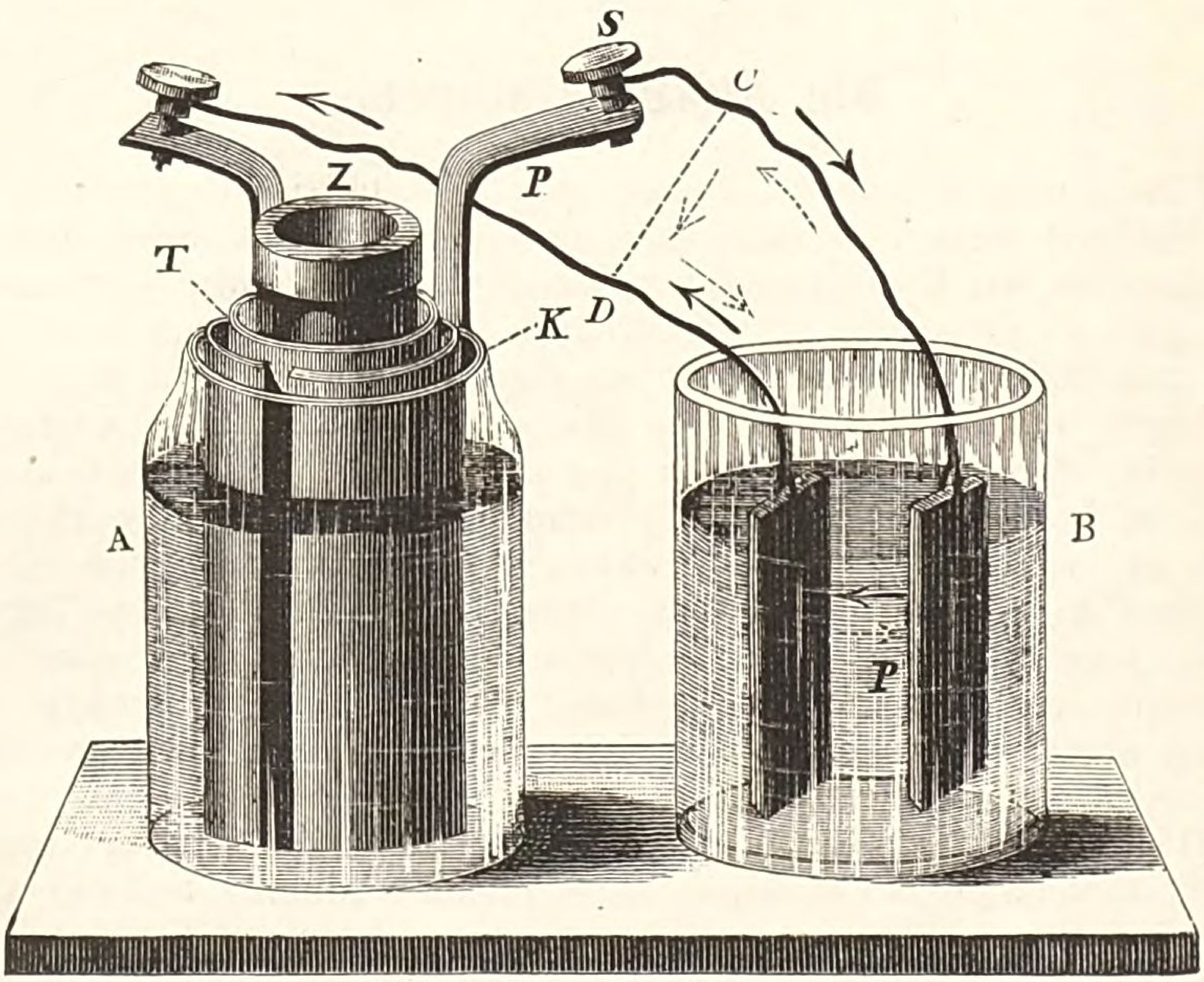
Eine ganze Reihe von Wirkungen des elektrischen Stroms, die lange bekannt waren, haben erst in der neuesten Zeit durch die Vervollkommnung der Dynamomaschine eine erhöhte Bedeutung gewonnen, indem man in ihnen die Mittel erkannte, um gewisse technische Aufgaben mit Hülfe der Elektricität zu lösen oder wenigstens in Angriff zu nehmen, die mit den früheren Mitteln der Technik stets erfolglos angestrebt wurden. Die beiden hauptsächlichen Aufgaben, an die hierbei zu denken ist, sind die Uebertragung von Kraft oder richtiger Arbeit auf weite Entfernungen und die Aufspeicherung von gerade unverwendbarer Arbeit zu späterer Benutzung. Die letztere Aufgabe gerade, eine lang berühmte Aufgabe der Technik, hat durch die Elektricität den Anfang einer Lösung erfahren, deren Princip vollkommen abweicht von den Principien aller früheren Lösungsversuche dieses wichtigen Problems.

Wenn ein elektrischer Strom durch einen Zersetzungsapparat, ein Voltameter, geschickt wird, in welchem verdünnte Schwefelsäure sich befindet, so wissen wir, dass die Elektroden, z. B. Platinelektroden, sich polarisiren. An der negativen Elektrode lagert sich Wasserstoff an, an der positiven Sauerstoff. Diese beiden so veränderten Elektroden sind dadurch gegen einander elektromotorisch wirksam geworden. Sie haben eine Potentialdifferenz in der verdünnten Schwefelsäure erhalten, und wenn man sie durch einen äusseren Schliessungsdraht mit einander verbindet, so fliesst durch diesen geschlossenen Kreis ein galvanischer Strom, der Polarisationsstrom. Wir haben also durch den elektrischen Strom, den wir hineingesendet haben, die Zersetzungszelle gewissermassen selbst zu einem galvanischen Element gemacht. Ist die eine Platinplatte vollständig mit Wasserstoff beladen, die andere vollständig mit Sauerstoff, so hat dieses Element, wie jedes andere, eine ganz bestimmte elektromotorische Kraft, welche gleich ist der Summe der Scheidungskräfte zwischen den beiden verschiedenen Platinplatten und der Schwefelsäure. Man kann also sagen, dass durch den ursprünglichen Strom, den man hindurchgeschickt hat, den primären Strom, die Zersetzungszelle zu einem galvanischen Element geworden ist. Man nennt dann die so polarisirte Zersetzungszelle ein sekundäres Element. In

diesem sekundären Element ist die mit Wasserstoff beladene Platinplatte die positive Platte. Verbindet man daher die beiden Platinplatten mit einander, so durchfliesst der sekundäre positive Strom das Element und die äussere Leitung in entgegengesetzter Richtung, als es der primäre positive Strom durchflossen hat.

Daraus folgt erstens, dass, wenn das primäre Element und die Zersetzungszelle mit einander verbunden sind, die Ströme aus beiden durch den Verbindungsdraht gegen einander fliessen und sich aufzuheben suchen. In Fig. 248 ist A das primäre Element, B das sekun-

Fig. 248.



däre. Von A aus fliesst der Strom in Richtung der voll gezeichneten Pfeile. Von B aus sucht er in Richtung der punktirt gezeichneten Pfeile, also entgegengesetzt zu fliessen.

Daraus folgt weiter, dass die elektromotorische Kraft des primären Elements mindestens ebenso gross sein muss, als die des vollständig polarisirten sekundären Elements, um dieses eben vollständig polarisiren zu können. Denn so lange die elektromotorische Kraft des primären Elements unter dieser Grenze liegt, kann die Zersetzungszelle nicht vollständig polarisirt werden, weil sich sonst die Ströme gegenseitig vollkommen aufheben. Also um ein sekundäres Element herzustellen, muss das primäre Element eine elektromotorische Kraft haben, welche mindestens gleich ist der höchsten elektromotorischen Kraft, welche das sekundäre Element annehmen kann.

Denken wir uns nun ein sekundäres Element hergestellt und seine Verbindung mit dem primären Strom unterbrochen, wie es in Fig. 248 durch die punktirte Linie C D angedeutet ist. Dann haben wir ein Element, dessen positive Elektrode das mit Wasserstoff beladene

Platin, dessen negative das mit Sauerstoff beladene ist. Sowie nun die Elektroden mit einander verbunden werden, also der Stromkreis geschlossen wird, fliesst der Strom hindurch und übt auf die Schwefelsäure des Elements seine elektrolytische Wirkung aus. Aus der Schwefelsäure scheidet sich Wasserstoff an der negativen und Sauerstoff an der positiven Elektrode ab. Die negative Elektrode ist aber mit Sauerstoff beladen, die positive mit Wasserstoff. Folglich vermindert sich durch den Strom die Polarisation der Elektroden, die elektromotorische Kraft und mit ihr der Strom muss abnehmen und muss schliesslich aufhören, wenn aller Wasserstoff von der einen und aller Sauerstoff von der andern Elektrode sich wieder zu Wasser verbunden haben. Im Allgemeinen nimmt auch in der That der Polarisationsstrom sehr rasch ab. Wenn aber dieLadung des sekundären Elements lange Zeit dauert, so scheidet sich der Wasserstoff resp. Sauerstoff nicht nur oberflächlich an den Platinelektroden ab, sondern er dringt auch in sie hinein, und wenn dann das sekundäre Element für sich geschlossen ist, so hält die elektrische Differenz der Elektroden viel länger an als früher.

Diese Thatsachen, welche wir schon auf S. 128—131 angeführt haben, gelten nun nicht nur für den Fall, dass Platinelektroden in Schwefelsäure stehen und durch den Strom polarisirt werden. Vielmehr entsteht in jedem Falle, wenn eine Flüssigkeit zwischen zwei gleichen oder ungleichen Elektroden elektrolysirt wird, ein Polarisationsstrom, falls eben die beiden Elektroden durch die Polarisation elektrisch different gegen einander geworden sind. Bei der Polarisation einer gewöhnlichen Wasserzersetzungszelle findet wahrscheinlich keine chemische Veränderung der Platinelektroden statt, sie beladen sich nur mit Gasen. Trotzdem hat der Polarisationsstrom schon hierbei eine elektromotorische Kraft von 2,3 Daniell (2,5 Volt). Man kann daher von vornherein vermuthen, dass eine Zersetzungszelle, in welcher durch die Elektrolyse die Elektroden wirklich chemisch different werden, sehr zweckmässig und kräftig sein werde. Natürlich ist eine stillschweigende Voraussetzung dabei, dass diejenigen Stoffe, welche durch Elektrolyse an den Elektroden entstehen, auch gute Leiter der Elektricität sind, denn sonst würde der innere Widerstand des Elements ein sehr grosser, also der Strom stets sehr schwach werden.

Das Verdienst nun, durch sehr viele und sorgfältige Versuche zuerst ein sehr zweckmässiges sekundäres Element hergestellt zu haben, hat Gaston Planté. Planté tauchte nämlich zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure. Sowie durch dieses System ein Strom hindurchgesendet wird, zerlegt sich die Schwefelsäure ($SO_4\,H_2$) in Wasserstoff, H_2, und das nicht frei bestehende SO_4. Von diesem letzteren wird sofort ein Sauerstoffatom durch das Blei weggenommen. Je zwei solcher Sauerstoffatome verbinden sich mit einem Atom Blei zu Bleisuperoxyd ($Pb\,O_2$), während die übrigbleibende wasserfreie Schwefelsäure SO_3 sofort Wasser aus der Lösung aufnimmt und wieder zu $SO_4\,H_2$ wird. Das Resultat der Elektrolyse ist also, dass an der negativen Elektrode sich freier Wasserstoff abscheidet, während an der positiven Elektrode sich Bleisuperoxyd bildet. War die negative Elektrode

etwas oxydirt (durch Stehen an der Luft oder auf andere Weise), so nimmt der an ihr sich entwickelnde Wasserstoff diesen Sauerstoff weg, er reducirt sie und macht sie zu reinem metallischen Blei. Wenn also die Polarisation vollständig ist, ist aus dem System ein galvanisches Element geworden, bestehend aus

Bleisuperoxyd | verdünnte Schwefelsäure | Blei.

Ein solches Element hat, wie jedes andere, eine bestimmte elektromotorische Kraft. Diese ist, wie die Versuche zeigen, gleich der von 1,19 Bunsen, oder gleich 2 Volt. Wenn das Element aber erst gebildet ist, so ist die negative Bleielektrode noch mit Wasserstoff bedeckt. Dann hat man also das Element

Bleisuperoxyd | Schwefelsäure | Wasserstoff

und dessen elektromotorische Kraft ist grösser: 1,4 bis 1,5 Bunsen, oder 2,2 bis 2,4 Volt.

Wird ein solches Element geschlossen, so fliesst also in Folge der elektromotorischen Kraft ein Strom hindurch. Dieser zerlegt durch Elektrolyse wieder die Schwefelsäure und es bildet sich jetzt an dem Bleisuperoxyd Wasserstoff, während an der reinen Bleiplatte sich Sauerstoff bildet. Dadurch wird das Bleisuperoxyd zu Bleioxyd reducirt und ebenso die reine Bleiplatte zu Bleioxyd oxydirt. Der Strom hört auf, wenn beide Platten in Bleioxyd verwandelt sind. Die gesammte Menge des erzeugten Bleisuperoxydes hängt nun ab von der Stärke und Dauer des primären Stromes, also von der gesammten Elektricitätsmenge, welche während der Ladung des sekundären Elements von dem primären Strom hineingesendet wurde. Die gesammte Elektricitätsmenge, die während der ganzen Dauer des sekundären Stroms durch das Element und die Leitung fliesst, kann also nicht grösser, sondern höchstens gleich sein der gesammten Elektricitätsmenge, die von dem ladenden Strome hineingegeben wurde. Ein bestimmtes Element kann aber auch nicht jede beliebige, sondern nur eine bestimmte Elektricitätsmenge im günstigsten Falle von dem primären Strom aufnehmen. Diese maximale Ladung wäre im Princip dann erreicht, wenn die eine Bleielektrode vollständig zu Bleisuperoxyd verwandelt wäre. Ein weiteres Hindurchsenden des elektrischen Stromes würde bewirken, dass an dieser Elektrode sich freier Sauerstoff abscheidet, würde also einen Vorgang erzeugen, der dem wesentlichen Vorgang in dem Element fremd ist.

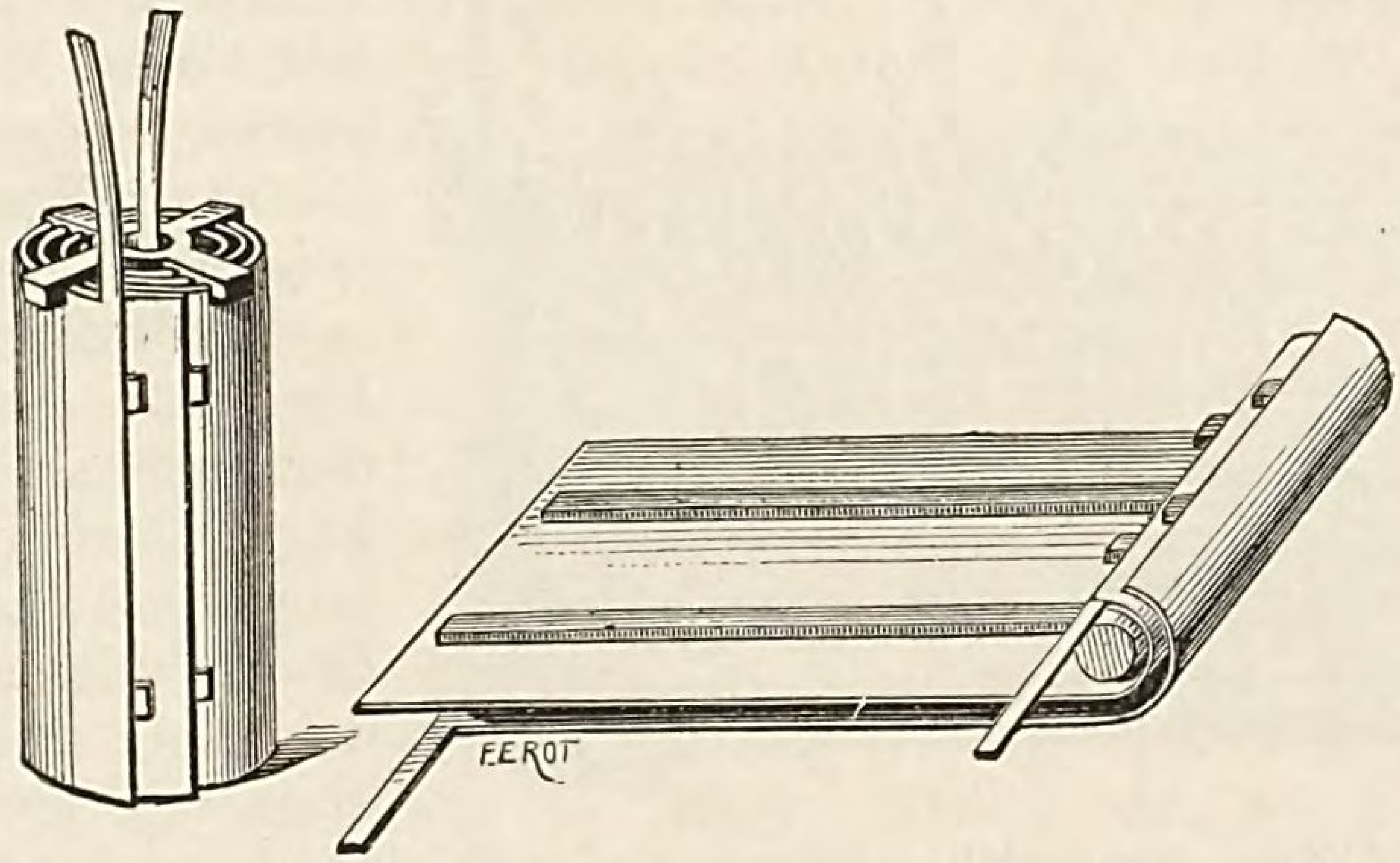
Die höchste Ladung, die ein sekundäres Element aufnehmen kann, nennt man seine Capacität. Diese hängt also ab von der Masse des umgewandelten Bleis, also von der Beschaffenheit und dem Gewicht des Elements.

Um den inneren Widerstand eines sekundären Elements möglichst klein zu machen, ist es nothwendig, die Oberfläche des Bleis möglichst zu vergrössern. Dadurch erreicht man auch den Vortheil, dass bei der Ladung zu gleicher Zeit an der ganzen grossen Oberfläche die Bildung des Bleisuperoxyds vor sich geht, also die Ladungszeit verringert wird.

Planté legte deshalb zwei lange und breite Bleiplatten auf einander und trennte und isolirte sie durch zwei dünne ($^1/_2$ Centimeter

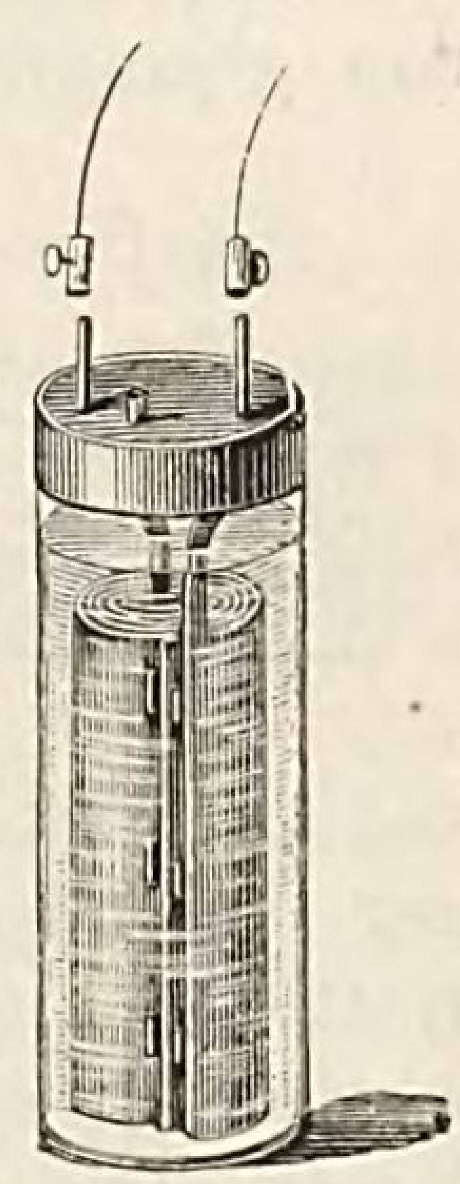
dicke) und schmale (die Breite beträgt nur 1 Centimeter) Kautschukbänder von einander. Dann wickelte er diese Bleiplatten spiralförmig auf, wie es Fig. 249 zeigt. Die Bleiplatten bilden also dann einen

Fig. 249.



Cylinder. Diesen hielt Planté zusammen durch ein kreuzförmiges Hartgummistück, welches er oben über sie legte. An den beiden Bleiplatten sind noch je ein Streifen von Blei gelassen, welche als Polenden dienen. Die Bleiplatten werden dann in ein Glasgefäss, das mit verdünnter Schwefelsäure (10 Theile Wasser auf 1 Theil Schwefelsäure) gefüllt ist, gestellt und das Gefäss mit einem Deckel von Hartgummi verschlossen, aus welchem die Elektroden herausragen. In Fig. 250 ist ein solches Element gezeichnet.

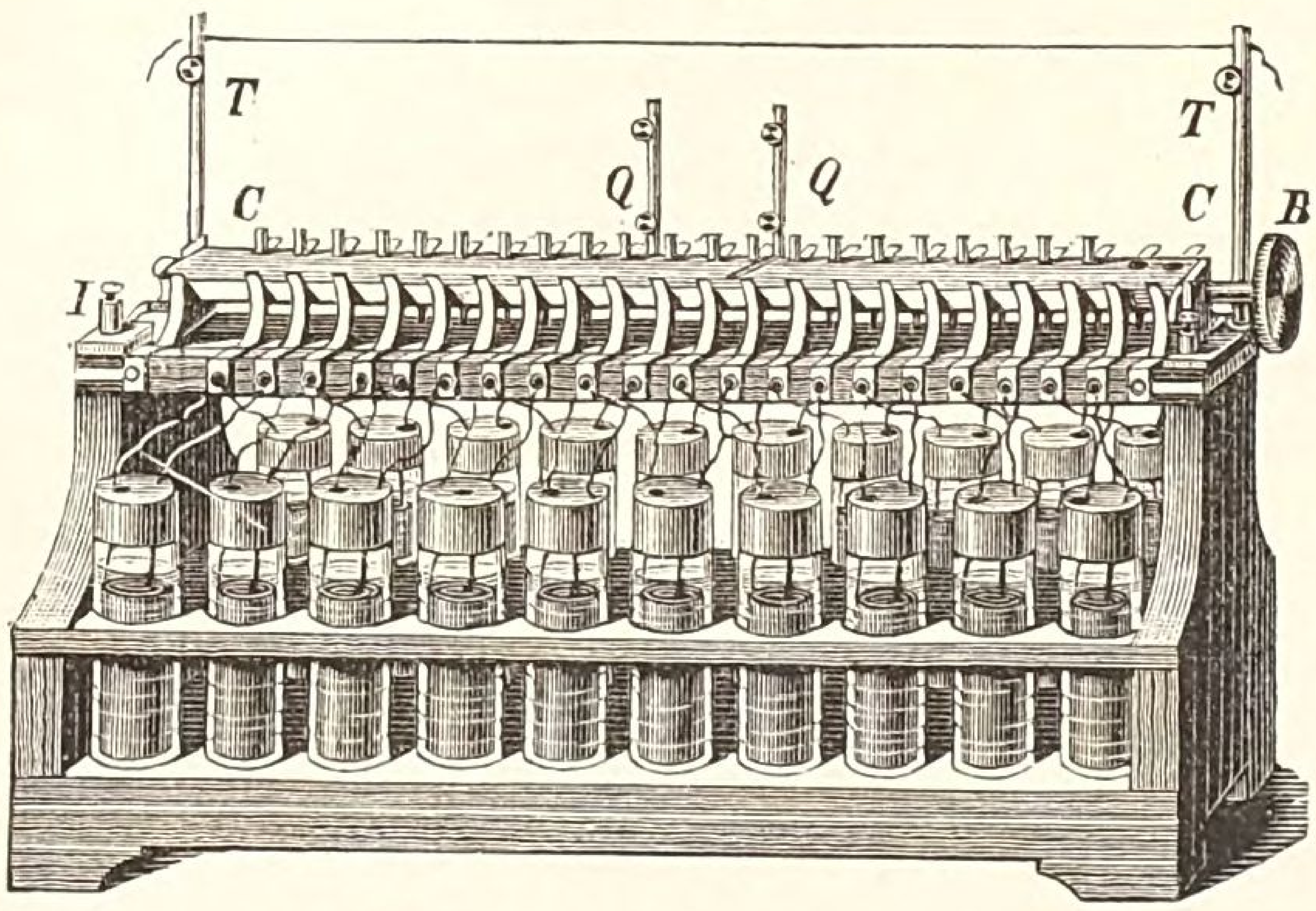
Fig. 250.



Hat man nun eine Reihe von solchen sekundären Elementen, so kann man diese alle neben einander verbinden, also z. B. alle inneren Bleiplatten mit einander und alle äusseren, und kann nun die ganze Reihe zu gleicher Zeit durch eine Batterie laden, deren elektromotorische Kraft höher ist, als die elektromotorische Kraft der Polarisation, welche in jedem von diesen Elementen entsteht. Man kann also die ganze Reihe z. B. schon durch 2 Bunsen laden, und wenn man den Strom lange genug gehen lässt, so kann man jedes von diesen Elementen bis auf das Maximum seiner Ladung bringen. Wenn man aber nachher sämmtliche Elemente hinter einander schaltet, so addiren sich die elektromotorischen Kräfte. Hat man also z. B. 50 Elemente, so bekommt man durch Hintereinanderschaltung eine Batterie, deren elektromotorische Kraft 50mal so gross ist, wie die jedes einzelnen Elements, also auch viel grösser als die der ladenden, primären Batterie. Man kann also dadurch sehr leicht Elektricität von geringer elektromotorischer Kraft, von geringer Spannung in Elektricität von sehr hoher Spannung verwandeln. Dies hat Planté auf einfache Weise durch einen Commutator bewerkstelligt. Fig. 251 zeigt eine solche Planté'sche Batterie. Die Elektroden aller Elemente laufen in Federn aus, welche einander gegenüberstehen, so dass alle Elektroden von den

oxydirten Bleiplatten in einer Reihe stehen und alle Elektroden der reinen Bleiplatten in einer zweiten Reihe, der ersten parallel, stehen.

Fig. 251.



Ein drehbarer Holzcylinder C C ist nun auf zwei Seiten der Länge nach mit einem Metallstreifen belegt, so dass, wenn die Metallstreifen mit den beiden Reihen von Federn in Berührung sind, alle Elemente neben einander geschaltet sind. Die Fig. 252 giebt diese Stellung des Holzcylinders im Querschnitt an. Ausserdem aber sind durch den Holzcylinder eine Reihe von Metallstiften gesteckt, ebenso viel, als Elemente in der Batterie sind. Bei einer Viertelumdrehung des Holzcylinders durch den Knopf B berühren nun die beiden Enden jedes Metallstifts je zwei ungleichnamige Pole zweier Elemente, so dass dadurch die Elemente alle hinter einander geschaltet sind. Diese Stellung des Commutators ist in Fig. 253 gezeichnet.

Man kann also mit Hülfe der sekundären Batterieen Elektricität von geringer Spannung in solche von grosser Spannung verwandeln,

Fig. 252.

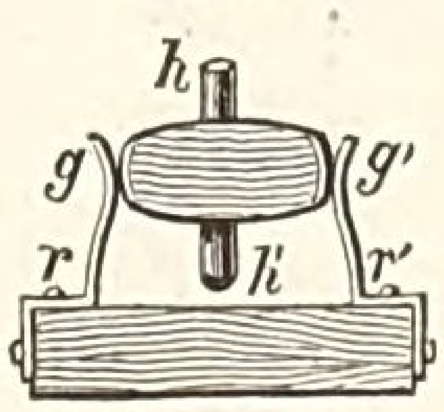
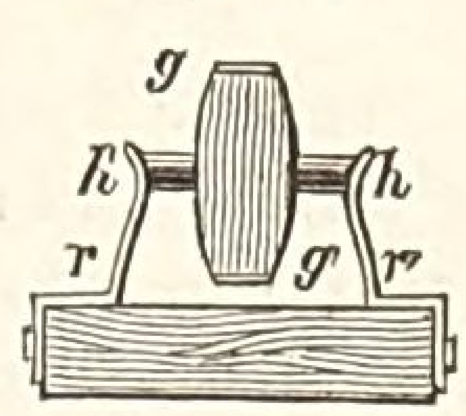


Fig. 253.



man kann daher auch in Stromkreisen hohe Stromstärken hervorbringen, wo die ladende primäre Batterie nur viel geringere Stromstärken geben würde. Natürlicherweise kann man aber an Gesammtenergie nichts gewinnen, man kann sie nur anders vertheilen. Die gesammte Energie (Produkt aus Stromstärke, elektromotorischer Kraft und Ladungszeit), die von der ladenden Batterie während der Ladungszeit in die sekundäre Batterie hineingegeben wurde, könnte im günstigsten Fall von ihr wieder abgegeben werden. Ist die Stromstärke und elektromotorische Kraft durch die Sekundärbatterie grösser, so ist dafür die Dauer des Stromes geringer als die des Ladungsstromes. Auf diese Weise hat Planté durch grosse Sekundärbatterieen die allerstärksten elektrischen Wirkungen auf einfache Weise hervorgebracht.

So einfach jedoch, wie oben angegeben ist, lässt sich ein wirksames Planté'sches Element nicht herstellen. Es genügt nicht, einfach zwei Bleiplatten in verdünnte Schwefelsäure zu tauchen, sie zu laden und dann den Polarisationsstrom zu benutzen. Dieser wäre dann von sehr geringer Dauer und von sehr rasch abnehmender elektromotorischer Kraft. Man muss vielmehr das Element erst behandeln. Es kommt ja darauf an, dass die eine Bleiplatte durch den an sie herantretenden Sauerstoff möglichst vollständig in Bleisuperoxyd verwandelt werde. Der Sauerstoff aber entwickelt sich aus der Schwefelsäure an

der Oberfläche des Bleis und greift in Folge dessen ganz vorzugsweise zuerst nur die Oberflächenschicht an. Es ist also jedenfalls nothwendig, wie es Planté gethan hat, den Bleiplatten des sekundären Elements eine grosse Oberfläche zu geben. Aber man muss auch dafür sorgen, dass der Sauerstoff auch in die Bleiplatte hineindringt und sie auch innen oxydirt. Damit dies nun der Fall sei, damit der Sauerstoff ganz in das Blei eindringe und es vollständig in Bleisuperoxyd verwandele, ist es nothwendig, das Blei gewissermassen aufzulockern, es zu disaggregiren, damit es den Sauerstoff leicht aufnehmen kann. Dies hat zuerst Planté dadurch erreicht, dass er ein Element nicht auf einmal, sondern der Reihe nach an vielen Tagen, sogar wochenlang, ladet und dann durch Schliessung wieder entladet. Dadurch dringt der Sauerstoff von Tag zu Tag etwas tiefer in das Blei ein und bei jeder neuen Ladung wird dann etwas mehr von der gesammten Masse des Bleis in Superoxyd verwandelt. Ferner erwies sich als vortheilhaft bei der Behandlung, das Element von Tag zu Tag in entgegengesetztem Sinne zu laden. Durch die entgegengesetzte Ladung wird das Bleisuperoxyd wieder zu Blei und zwar in körniger und poröser Form, so dass bei nachheriger Ladung der Sauerstoff nun leicht bis dahin eindringen kann. In dieser angegebenen Weise behandelt Planté seine Elemente viele Monate lang. Erst dann erreichen sie das Maximum ihrer Wirksamkeit, erst dann haben sie eine solche Capacität, wie sie ihrem Bleigewicht entspricht. Nach dieser Behandlung, also bei einem fertigen Planté'schen Element, genügt eine einmalige Ladung durch den Strom von zwei Bunsen'schen Elementen, um dasselbe vollkommen zu laden.

Ausser den angegebenen chemischen Veränderungen treten in einem Planté-Element noch andere, weniger einfache auf. Insbesondere bildet sich ausser dem Bleisuperoxyd noch Bleisulfat, welches nach neueren Untersuchungen die Präparirung des Elements in mancher Hinsicht erleichtert.

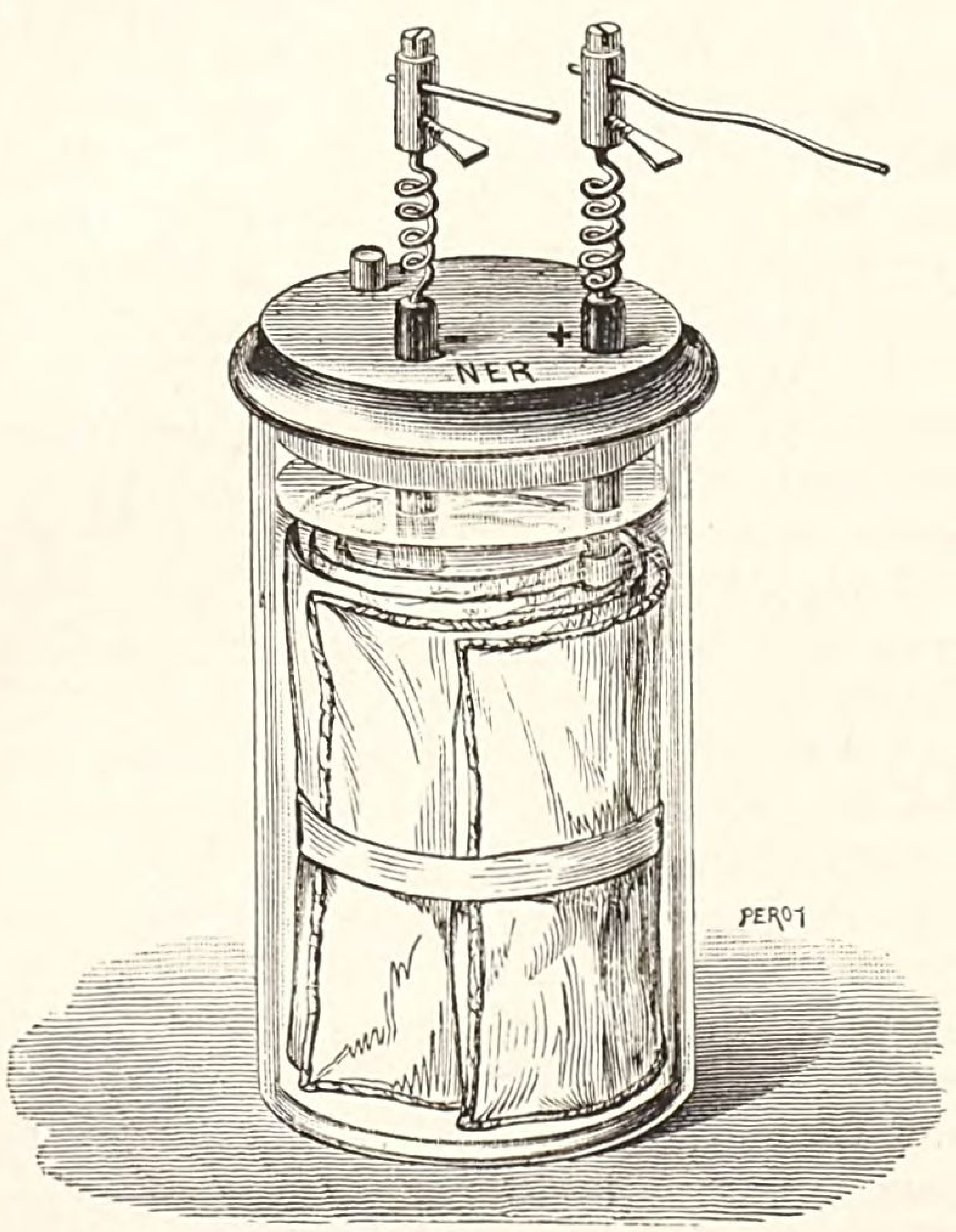
Ist nun ein solches Planté'sches Element geladen, sind also seine Bleielektroden chemisch verändert, so giebt es zu jeder Zeit, wenn man die Elektroden durch einen Schliessungskreis verbindet, einen elektrischen Strom, einen Strom, der annähernd im Ganzen dieselbe Elektricitätsmenge mit sich führt, wie der ladende Strom. So lange die Bleielektroden chemisch verändert sind, so lange enthält das Element die Fähigkeit in sich, einen Strom zu bilden. Die chemische Veränderung bleibt nun, wenn das Element ungeschlossen gehalten wird, einige Zeit lang bestehen, mehrere Tage wenigstens, ohne grossen Verlust. Es ist dann also möglich, eine gewisse Elektricitätsmenge dadurch, dass man sie zum Laden eines Planté'schen Elements verwendet, gewissermassen mehrere Tage lang aufzuheben. Die Elektricität ist in Form von chemischer Veränderung in dem Element aufgespeichert und kann nach einiger Zeit wieder aus demselben herausgezogen werden. Ein solches sekundäres Element ist also gewissermassen ein Speicher für eine bestimmte Elektricitätsmenge. Man nennt deshalb auch die sekundären Elemente Akkumulatoren.

Lange Zeit hingegen lassen sich die Elektricitätsmengen nicht in

den Akkumulatoren aufbewahren. Denn auf der mit Bleisuperoxyd bedeckten Bleiplatte finden sogenannte lokale Ströme statt, welche das Superoxyd zu Bleioxyd reduciren, resp. es in Bleisulfat umwandeln. Ein jeder Tag bringt also eine Verminderung der Menge von Bleisuperoxyd und dadurch eine Verminderung der aufgespeicherten Elektricitätsmenge hervor. Für einige Tage hingegen lassen sich auch grosse Elektricitätsmengen in dem Element aufbewahren, geringe Mengen bleiben auch sehr lange Zeit in ihm zurück.

Ein grosser Uebelstand des Planté'schen Elements ist offenbar die umständliche Vorbereitung desselben, bevor es seine vollständige Capacität erlangt hat. Diesem musste abgeholfen werden. Auf eine sinnreiche Weise änderte in Folge dessen Faure das Element von Planté ab. Er umgab nämlich die beiden Bleielektroden mit einer Schicht von Mennige, welche ja an sich schon eine Sauerstoffverbindung des Bleis ist. Es ist Mennige ein lebhaft rothes Pulver, welches gewöhnlich als eine Verbindung von Bleioxyd (PbO) und Bleisuperoxyd (PbO_2) angesehen wird. Dieses Pulver reibt Faure mit Wasser zu einem dicken Brei an und umgiebt jede Elektrode mit diesem Brei, welchen er durch einen Filzüberzug auf der Platte festhält. Fig. 254 giebt die Ansicht eines Faureschen Elements. Wird nun das Element geladen, so wird auf der positiven Elektrode die schwammige Mennige vollständig in Bleisuperoxyd verwandelt, während auf der negativen Elektrode die Mennige durch den Wasserstoff zu reinem Blei reducirt wird. Dadurch, dass die Mennige pulverförmig ist, können die Gase mit Leichtigkeit nicht nur an die Oberfläche derselben, sondern auch in das Innere derselben eindringen, und so geht die chemische Veränderung durch den Ladungsstrom rasch vollständig von statten. Nach zwei- bis dreimaliger Ladung und Entladung hat das Element sein Maximum an Capacität erreicht und kann nun durch jede hinreichend lange Ladung auf das Maximum seiner Wirksamkeit gebracht werden. Es scheint bei den Faure'schen Elementen hauptsächlich nur auf die chemische Veränderung der Mennige reflektirt zu werden. Selbstverständlich würden auch die Bleielektroden selbst durch einen

Fig. 254.



fortdauernden Strom polarisirt werden. Dann aber wäre dieselbe Schwierigkeit für die vollständige Ladung, wie bei der Planté'schen Batterie. Ist aber die Mennige einmal vollständig zu Bleisuperoxyd auf der einen Elektrode oxydirt und zu reinem Blei auf der andern Elektrode reducirt worden, und ist das Element einmal entladen, so kann jede neue Ladung es wieder zu seiner vollständigen Wirksamkeit bringen. Es hängt dann also die Capacität eines Faure'schen Elements nur ab von dem Gewicht der Mennige, welche in ihm enthalten ist, und selbstverständlich kann die maximale Capacität eines Faure'schen Elements bei demselben Gewicht des Bleis und des Superoxyds nur ebenso gross sein, wie die eines Planté'schen Elements. Deswegen sind die grossen Reklamen, welche die Ueberlegenheit des Faure'schen Elements über das Planté'sche in Bezug auf Capacität in den Himmel heben wollten, von vornherein als unbegründet zu bezeichnen. Auch haben die Versuche gezeigt, dass pro Kilogramm Gewicht ein Planté'sches Element ebenso viel Elektricität aufspeichern kann, wie ein Faure'sches, falls beide zu dem Maximum ihrer Capacität gekommen. Allerdings ist bei der Faure'schen Batterie die Behandlung bis zur vollständigen Wirksamkeit eine viel einfachere und kürzere, als bei der Planté'schen. Dafür aber hat das Faure'sche Element den Nachtheil der schwierigeren Herstellung, weil die Mennige nicht leicht auf der Bleielektrode zu befestigen ist, und den weiteren Nachtheil der weniger grossen Haltbarkeit und Sauberkeit in seinem Aussehen. Uebrigens hat Planté in der jüngsten Zeit gezeigt, wie man die vorgängige Behandlung seiner Elemente auf einfache Weise so einrichten kann, dass sie nach wenigen Tagen schon das Maximum ihrer Wirksamkeit erlangen. Dies lässt sich nämlich dadurch erreichen, dass man die Bleiplatten vor der Ladung 24 bis 48 Stunden lang in wenig verdünnte Salpetersäure (2 Liter Salpetersäure auf 1 Liter Wasser) stellt, sie dann sorgfältig auswäscht und nachher in Schwefelsäure ladet. Durch die Behandlung mit Salpetersäure werden einzelne Bleitheilchen aufgelöst und die Platten dadurch bis ins Innerste disaggregirt, so dass der ladende Strom nachher sehr leicht die positive Elektrode bis ins Innerste in Bleisuperoxyd verwandeln kann.

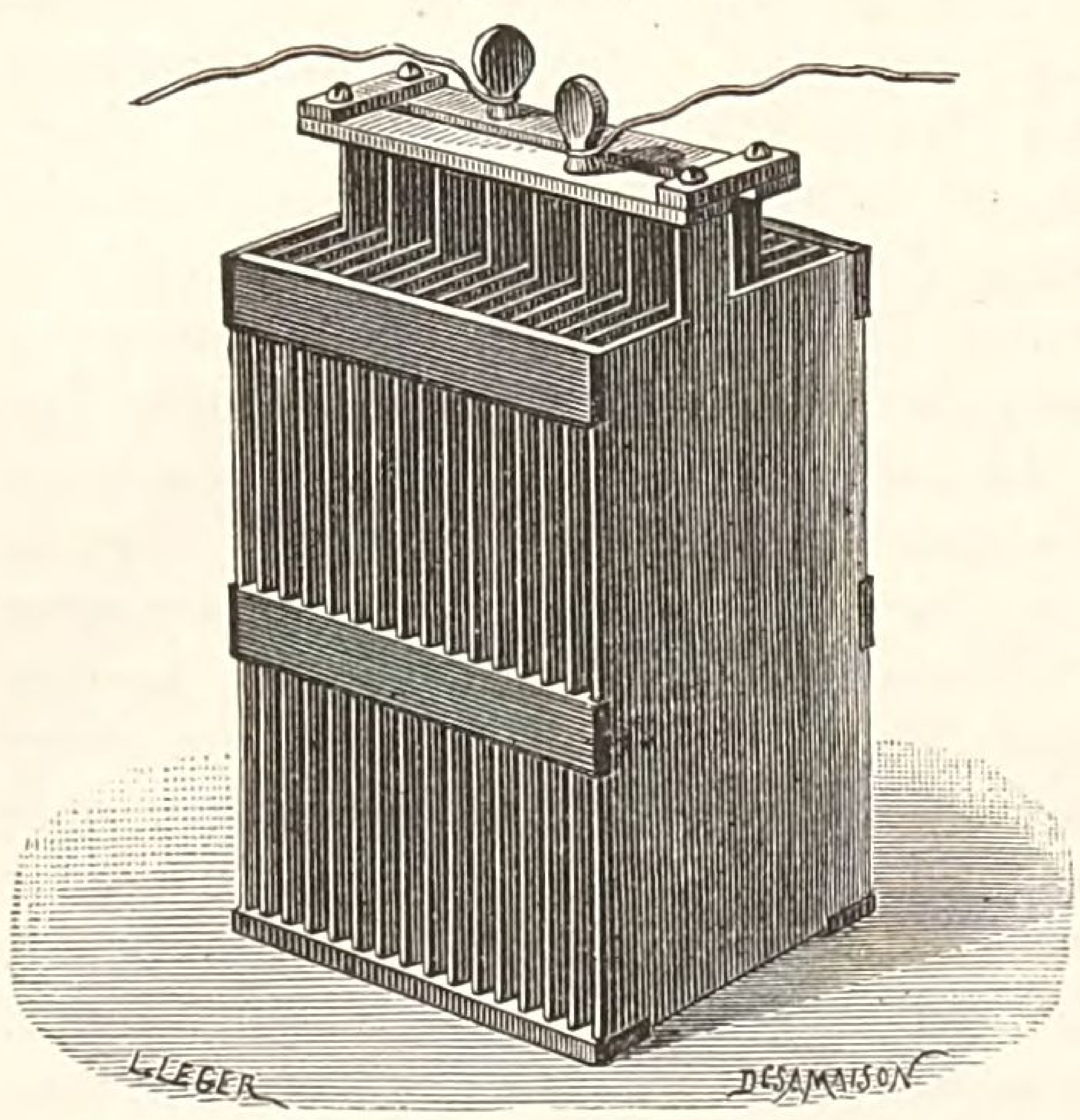
Wie viel Elektricität in einem Planté'schen oder Faure'schen Element aufgespeichert werden kann, das hängt natürlich von seiner Grösse, also von seinem Gewicht ab. Eine wesentlichere Frage ist aber die, wie viel von der aufgespeicherten Energie bei der Entladung wieder nutzbar abgegeben werden kann. Das Verhältniss der abgegebenen zur aufgewendeten Arbeit nennt man den N u t z e f f e k t des Akkumulators. Dieser Nutzeffekt wird um so grösser, je besser präparirt das Element ist. Es hat sich auch gezeigt, dass man, um guten Nutzeffekt zu erhalten, sehr schwache und sehr starke Intensitäten bei der Ladung vermeiden muss. Ströme zwischen 4 und 11 Ampère bei der Ladung angewendet, geben den besten Nutzeffekt. Aus vielfachen Versuchen folgt nun, dass der Nutzeffekt bei den (bisher vorhandenen) Akkumulatoren, selbst bei den am besten präparirten, 50 % nie übersteigt, dass er sich vielmehr meistens zwischen 40 und 50 % hält, d. h. von der in chemische Energie umgewandelten Arbeit lassen sich

durch einen Akkumulator nur 40—50 % in Elektricität verwandeln und dadurch benutzen.

Dieses Resultat ist nicht sehr ungünstig. Man wird annehmen können, dass man stets auf einige Tage in Akkumulatoren Arbeit aufspeichern und 40—50 % dieser aufgespeicherten Arbeit zurückerhalten kann.

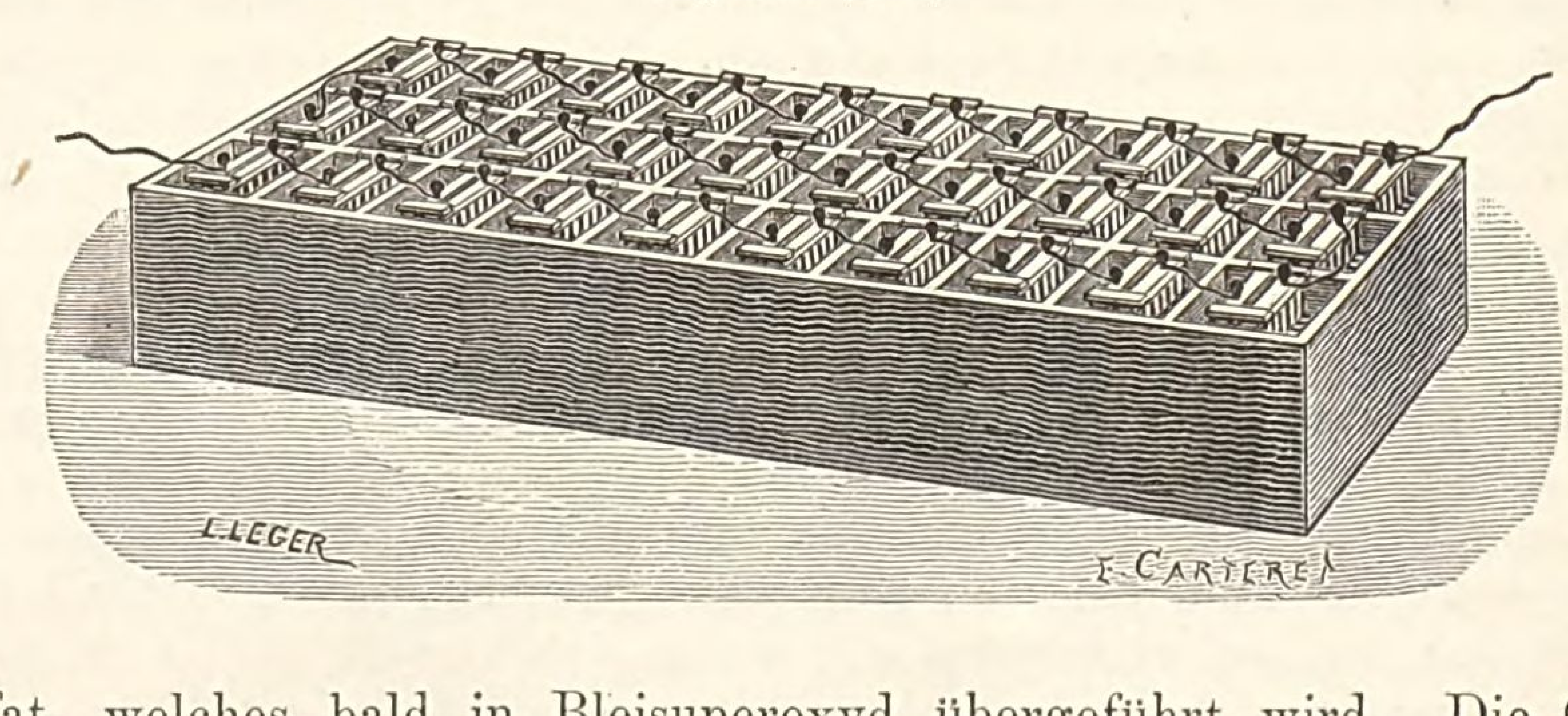
Die neueren Anordnungen der Akkumulatoren beziehen sich wesentlich darauf, durch verschiedene Mittel die Disaggregation der Bleielektroden hervorzurufen, um so die Vorbereitungszeit der Elemente zu verringern. So bringt Kabath bei seinen Akkumulatoren dünne Platten von corrodirtem Blei zwischen zwei dicke Bleiplatten, die mit Löchern versehen sind. Durch diese Löcher kann die Säure cirkuliren, die angreifbare Oberfläche ist dadurch eine grössere. Die dünnen Zwischenplatten zerfallen bei der Ladung rasch, ihre Theilchen bleiben aber zwischen den äusseren Platten hängen. So werden positive und negative Platten neben einander gestellt.

Fig. 255. (L. é.)



Sehr wesentliche Erfolge in Betreff der Abkürzung der Vorbereitung sollen bei den Akkumulatoren erzielt sein, die von Schulze verfertigt werden. Schulze nimmt nämlich ganz dünne (0,5 Millimeter dicke) Bleiplatten in Schwefelsäure für seine Batterieen und giebt ihnen eine ganz rauhe Oberfläche dadurch, dass er sie vorher mit Schwefel behandelt. Er bestreut die Platten nämlich mit Schwefelpulver und röstet sie dann. Sowie der Strom eingeleitet wird, entweicht auf der einen Seite Schwefelwasserstoff, auf der anderen bildet sich Bleisulfat, welches bald in Bleisuperoxyd übergeführt wird. Die Oberfläche des Bleis wird durch das Rösten ganz gerippt und es kann sich

Fig. 256. (L. é.)



also zu gleicher Zeit sehr viel Superoxyd bilden. Jedes Element besteht, wie Fig. 255 zeigt, aus 16 neben einander gestellten Bleiplatten, die durch ein Ebonitstück zusammengehalten werden. Je 30 solche Elemente stehen in einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Kasten, wie Fig. 256 zeigt.

Man hat auch versucht, nicht zwei gleiche Metallplatten in eine Flüssigkeit tauchen zu lassen, sondern zwei verschiedene Metalle als Elektroden zu benutzen. So besteht z. B. der Böttcher'sche Akkumulator aus einer Zink- und einer Bleiplatte, welche zusammen in eine Lösung von schwefelsaurem Zink getaucht sind.

Wenn das Blei vollständig durch den Strom oxydirt ist, so hat man ein Element

Zink | schwefelsaures Zink | Schwefelsäure | Bleisuperoxyd,

welches nun, wenn es geschlossen wird, einen Strom vom Zink durch die Flüssigkeit zum Bleisuperoxyd giebt. Ist die gesammte aufgespeicherte Elektricitätsmenge aufgebraucht, so hat man hier immer noch das ursprüngliche galvanische Element

Zink | schwefelsaures Zink | Blei.

Doch hat dieses Element, ebenso wie andere, keine grossen Erfolge gegenüber der Planté'schen und Faure'schen Form aufzuweisen. Es wäre wünschenswerth, dass die nächsten Jahre uns in Bezug auf Akkumulatoren noch wesentliche Verbesserungen bringen. Denn alle bisher construirten Sekundärbatterieen leiden an dem sehr erheblichen Gewicht und der geringen Dauer der Aufspeicherung, wenn man selbst den grossen Verlust an Arbeit bei der Aufspeicherung (50—60 %) nicht als einen sehr erheblichen Mangel betrachten will.

In Folge der erwähnten Mängel sind die Anwendungen der Sekundärbatterieen ziemlich beschränkt. Zunächst können sie nämlich dazu dienen, die Aufspeicherung von Arbeit zu übernehmen in denjenigen Fällen, wo Arbeitskraft sonst nutzlos verloren würde. In Fabriken z. B., in denen grosse Dampfmaschinen arbeiten, kann diesen im Allgemeinen stets noch eine Dynamomaschine angehängt werden, ohne dass der eigentliche Betrieb darunter leidet. Mit der Dynamomaschine lässt sich nun eine Sekundärbatterie laden, und diese kann dann am Abend dazu benutzt werden, um elektrisches Licht zu erzeugen. Es wird dann also die Beleuchtung der Fabrik gewissermassen durch die Abfälle der Kraft hergestellt, welche den Tag über thätig ist.

Ueberhaupt dürfte die Anwendung der Sekundärbatterieen hauptsächlich zur Erzeugung von elektrischem Licht von Vortheil sein. So sind bereits eine Reihe von mehr oder minder gelungenen Versuchen damit gemacht worden, um Eisenbahnzüge elektrisch zu beleuchten. So lange der Zug im Gang ist, treibt die Lokomotive eine Dynamomaschine und erzeugt durch deren Ströme elektrisches Bogenlicht oder Glühlicht. Sobald aber der Zug steht, würden diese Ströme und dadurch auch die Beleuchtung aufhören. Hier tritt nun die Sekundärbatterie als willkommene Ergänzung ein. Während der Zug fährt, wird von der Dynamomaschine auch die Sekundärbatterie geladen, abgesehen davon, dass sie Licht erzeugt. Sobald der Zug hält, wird

der Entladungsstrom der Akkumulatoren durch eine selbstthätige Umschaltung in die Lampen geschickt und bewirkt, dass diese weiter brennen.

Man hat die Frage angeregt, ob es nicht möglich sei, mit Hülfe der Akkumulatoren auch unregelmässig wirkende Naturkräfte nutzbar zu machen. Man dachte daran, die Kraft des Windes, die Kraft des niederfallenden Regens dazu zu benutzen, um stets, wenn die Kraft vorhanden ist, durch Windmühlen und durch eigens dazu gebaute schief abfallende Dächer sie zur Bewegung von Dynamomaschinen anzuwenden. Durch die Dynamomaschine wollte man Akkumulatoren laden lassen und die in ihnen aufgespeicherte Arbeit zu beliebiger Zeit benutzen. Im Princip ist diese Idee, die einen grossartigen Fortschritt in der Ausnutzung der Naturkräfte bieten würde, sicher richtig. Der praktischen Ausführung stellt sich bis jetzt nur entgegen, dass die Akkumulatoren ihre Ladungen nur recht kurze Zeit behalten, dass jeder Tag einen Verlust hervorbringt. Es müssen also die Akkumulatoren möglichst bald nach ihrer Ladung benutzt werden, und daher ist eine Anhäufung der in unregelmässigen und oft weit aus einander liegenden Intervallen vorhandenen Kräfte noch nicht ausführbar. Wo aber die Akkumulatoren bald nach ihrer Ladung zur Benutzung kommen und insbesondere wo die Ladung mit unbedeutenden Kosten zu bewerkstelligen ist, weil die aufgespeicherte Arbeitsmenge sonst überhaupt nutzlos verloren wäre, haben die Akkumulatoren wohl eine Zukunft für sich.

Die Dynamomaschinen dienen, wie in dem Kapitel über Kraftübertragung auseinandergesetzt werden wird, nicht nur dazu, elektrische Ströme durch Bewegung zu erzeugen, sondern sie werden auch dazu benutzt, um durch elektrische Ströme in Bewegung gesetzt zu werden und dann Arbeit zu leisten. Auch für diese umgekehrte Benutzung der Dynamomaschinen hat man versucht, die Akkumulatoren in manchen Fällen anzuwenden. Es kommt ja nur darauf an, Ströme von grosser Intensität in die Dynamomaschinen einzuleiten, um sie in sehr rasche Drehung versetzen und dadurch von ihnen erhebliche Arbeit leisten lassen zu können. Gewöhnlich benutzt man die Ströme einer Dynamomaschine dazu, um eine zweite treiben zu lassen. Man kann aber auch die starken Ströme dazu benutzen, welche durch die in den Akkumulatoren aufgespeicherte Elektricität geliefert werden. Bei feststehenden Einrichtungen, in welchen durch Elektricität Arbeit geleistet werden soll, wird man natürlich immer Dynamomaschinen direkt anwenden, und die Akkumulatoren höchstens zur Ergänzung und Regulirung des Stromes benutzen. Wenn aber durch Elektricität Wagen in Bewegung gesetzt werden sollen, könnte es zuweilen von Vortheil sein, die Kraftquelle auf dem Wagen mitzuführen. So hat man versucht, Trambahnwagen und Boote durch Dynamomaschinen und Akkumulatoren treiben zu lassen. Man verbindet die Axe des Ringes der Dynamomaschine mit den Rädern des Trambahnwagens in einer Weise, die bei der Beschreibung der elektrischen Eisenbahnen angeführt werden wird, und lässt die Dynamomaschine durch die Ströme treiben, die von einem mitgeführten Akkumulator

geliefert werden. Doch muss dann eben das grosse Gewicht des Akkumulators mitgefahren werden, welches die Anwendung dieser Beförderung sehr erschwert. Wenn die Akkumulatoren viel leichter gemacht werden könnten, dann könnte man sich vielleicht denken, dass die Trambahnen in Zukunft elektrisch getrieben werden. Die Akkumulatoren würden in grosser Zahl von besonderen Dynamomaschinen geladen werden und an jeder Station könnten die erschöpften Akkumulatoren durch frisch geladene ersetzt werden, eine Idee, die jedenfalls wiederholter Versuche werth ist.

Eine andere Anwendung der Akkumulatoren liegt sehr nahe, aber trotz einiger im Kleinen gelungenen Versuche ist an eine Zukunft derselben wohl nicht zu glauben. Es sollten nämlich die Dynamomaschinen benutzt werden, um, von Akkumulatoren gespeist, Luftballons durch die Luft fortzubewegen. Wenn es auch keinem Zweifel unterliegt, dass durch eine erhebliche bewegende Kraft und bei geeigneter Construktion des Ballons es möglich ist, denselben zu lenken und sogar gegen einigermassen starke Winde fortzubewegen, so war es doch thatsächlich bisher unmöglich, darin einen Erfolg zu erzielen. Die bewegende Kraft konnte allein von Dampfmaschinen in der benöthigten Stärke geliefert werden. Das Gewicht einer solchen starken Dampfmaschine, welche ja von dem Ballon mitgetragen werden müsste, ist aber so gross, dass diese Idee nicht gut ausführbar ist. Ausserdem ist bei der leichten Entzündlichkeit des Ballons eine Dampfmaschine an demselben eine Quelle der allerhöchsten Gefahr. Diese beiden Hindernisse, welche der Bewegung eines Ballons durch eine Maschine im Wege stehen, glaubte nun Tissandier durch Anwendung einer Dynamomaschine beseitigen zu können, welche er durch Faure'sche Batterieen (oder auch durch gewöhnliche galvanische Elemente) speisen lassen wollte. Das Gewicht einer Dynamomaschine und der dazu nöthigen kräftigen Faure'schen Batterie sollte nach ihm viel kleiner sein können, als das einer gleichwerthigen Dampfmaschine, für welche man ja auch noch den Kohlenvorrath mitnehmen müsste, und die Feuergefährlichkeit wäre bei einer solchen Triebkraft gleich Null. Tissandier hat auch Versuche zuerst im Kleinen, dann im Grossen angestellt. Er construirte sich einen kleinen, zweckmässig geformten Ballon, der ausser seinem eigenen Gewicht zwei Kilo tragen konnte, und brachte in denselben das kleine Modell einer Siemens'schen Dynamomaschine von 220 Gramm Gewicht und eine Faure'sche Batterie von 1,3 Kilo Gewicht. Der Ballon war mit Steuerruder und Schraube versehen und bewegte sich nach den Angaben Tissandier's mit vollkommener Präcision in der durch die Stellung des Steuers vorgezeichneten Richtung. Natürlich lässt dieser Versuch, der bei ruhiger Luft angestellt ist, nicht den geringsten Schluss auf eine praktische Verwendung im Grossen zu. Doch ist Tissandier weiter gegangen. Er hat einen grossen Ballon in Form einer an beiden Seiten zugespitzten, aber in der Mitte breiten Cigarre gebaut, in dessen Kahn eine Siemens'sche Dynamomaschine von ca. 280 Kilo Gewicht und eine Batterie von 24 Elementen gebracht und durch die Dynamomaschine eine Schraube in Bewegung setzen lassen. Mit diesem Ballon stieg er selbst auf in

Begleitung seines Bruders, und konnte den Ballon mit Leichtigkeit dirigiren und auch noch gegen einen Wind von drei Meter Geschwindigkeit ankämpfen lassen. Auf Grund dieser Erfahrung hofft er mit grösseren Ballons und stärkeren Schrauben auch gegen ziemlich starke Winde den Ballon lenken zu können und auf diese Weise das Problem der Lenkung des Luftballons lösen zu können. Wenn diese Hoffnung auch als vielleicht zu sanguinisch bezeichnet werden muss, so muss man doch zugeben, dass auch auf diesem fast ein Jahrhundert lang vergeblich angestrebten Gebiet die moderne Elektrotechnik neue und eigenartige Anregung gebracht hat.

3. Kapitel.

Das elektrische Bogenlicht.

Den Hauptanstoss zu der grossen Entwickelung der Elektrotechnik in den letzten Jahren gab das Bedürfniss zur allgemeinen Einführung der elektrischen Beleuchtung. Elektrisches Licht hatte man lange schon in Laboratorien für Vorlesungsversuche und zuweilen auch öffentlich für besondere Zwecke gemacht. Man scheute für solche Zwecke auch nicht die umständliche und theure Verwendung von kräftigen galvanischen Batterieen. Sollte das elektrische Licht aber praktisch verwendet werden, sollte es möglich sein, dasselbe zur Beleuchtung von Strassen, Plätzen und grossen Gebäuden zu benutzen, so kam es vor allen Dingen darauf an, die Erzeugung des benöthigten elektrischen Stromes bequemer und viel billiger zu machen, als man es durch Anwendung von galvanischen Batterieen erreichen konnte. Dies war eine der wesentlichsten Ursachen, dass sich die Technik mit besonderer Wucht auf die Erzeugung von elektrischen Strömen durch direkte Aufwendung von Arbeit warf, und die dynamoelektrischen Maschinen, welche dies mit Hülfe der Induktion erreichen liessen, waren das Hauptresultat dieser Anstrengungen.

Das elektrische Bogenlicht entsteht, wie auf S. 111 auseinandergesetzt ist, wenn ein starker elektrischer Strom zwischen zwei Kohlenspitzen übergeht, die durch eine kleine Strecke erhitzter Luft von einander getrennt sind. Um den ziemlich grossen Widerstand, welchen eine erhitzte Luftstrecke dem Strom bietet, zu überwinden, ist es nöthig, dass die elektromotorische Kraft, welche die Elektricität durch die Leitung treibt, eine grosse ist. Denn nach dem Ohm'schen Gesetz ist immer die Stromintensität gleich der elektromotorischen Kraft, dividirt durch den gesammten Widerstand des Schliessungskreises. Befindet sich also im Schliessungskreis eine kleine Luftstrecke mit erheblichem Widerstand, so muss auch die elektromotorische Kraft gross gemacht werden, um einen merkbaren Strom durch diese hindurch zu senden. Dazu kommt auch noch, wie wir auf S. 113 gesehen haben, dass in dem Lichtbogen, wahrscheinlich in Folge der Zerstäubung der Elektroden, eine elektromotorische Gegenkraft auftritt, welche von der angewendeten elektromotorischen Kraft ebenfalls überwunden werden muss. Also die elektromotorische Kraft in dem Strome, welcher elek-

trisches Licht hervorbringen soll, muss eine erhebliche sein. Aber dies allein genügt nicht, denn sonst würde man ja durch eine gewöhnliche Influenzmaschine, die Elektricität von sehr hohem Potential, von sehr grosser elektromotorischer Kraft liefert, am einfachsten elektrisches Licht erhalten können. Es muss ausserdem auch die Intensität des Stromes, die Menge der durch den Stromkreis hindurchgehenden Elektricität eine sehr grosse sein. Denn nach dem Joule'schen Gesetz hängt die Erwärmung eines Leiterstückes, das von einem Strome durchflossen wird, ausser von seinem Widerstand direkt ab von der Stärke des Stromes, der durch dasselbe fliesst, und zwar im quadratischen Verhältniss. Die Kohlenenden, zwischen denen das elektrische Licht hervorbrechen soll, müssen stark erhitzt, müssen also von einem Strom von erheblicher Intensität durchflossen werden. Deswegen gehört zur Erzeugung von elektrischem Licht eine Elektricitätsquelle, welche Ströme von erheblicher elektromotorischer Kraft und grosser Intensität hervorbringt. Davy, welcher zuerst das elektrische Licht beobachtete, hatte eine Batterie von 2000 Volta'schen Elementen angewendet. Jetzt erzeugen wir dasselbe am einfachsten mit Dynamomaschinen, welche ja Ströme von erheblicher Spannung und grosser Stromstärke liefern. Kommt ein solcher Strom in die Kohlenenden, zwischen welchen die Unterbrechungsstelle gebildet wird, dann werden diese Enden heiss, sie erhitzen auch die zwischen ihnen liegende Luftschicht, sie fangen an zu glühen, sie werden endlich nach überaus kurzer Zeit ganz hell weissglühend. Auch die Luft zwischen ihnen wird durch die hohe Temperatur, welche zwischen 2000 und 4000° C. liegt, glühend. Von den glühenden Kohlenenden reissen sich fortwährend Theilchen ab und fliegen glühend durch die Luftschicht hindurch zu der gegenüberliegenden Elektrode. Dies ist das allgemeine Bild des elektrischen Bogenlichts oder des Flammenbogens. Das eigentlich Leuchtende im elektrischen Licht ist nicht der Flammenbogen, welcher als glühendes Gas nur wenig Licht aussendet. Das eigentlich Leuchtende sind vielmehr die weissglühenden Enden der Kohlenelektroden selbst. Von beiden Elektroden aus fliegen glühende Kohlentheilchen fort, sowohl durch die Luftschicht hindurch zu der anderen Elektrode, als seitlich in den freien Raum. Aber diese Zerstäubung der Elektroden ist nicht bei beiden die gleiche. Von der positiven Kohle reissen sich die Theilchen in weit grösserer Zahl ab als von der negativen, und so kommt es, dass, wenn das Bogenlicht eine Zeit lang besteht, die positive Kohlenelektrode sehr bald sich aushöhlt und einen weissglühenden Krater bildet. Die negative Kohle dagegen bleibt während des Vorgangs immer erhaben. Denn die Theilchen der positiven Elektrode fliegen in grosser Zahl auf die negative über und bedecken sie mit einer stets neuen Schicht. Am einfachsten kann man das Bogenlicht studiren, wenn man sein Bild durch eine schwach vergrössernde Linse auf einen Schirm projicirt. Dann erscheint ein Bild von der Form, wie sie Fig. 257 zeigt. Der eigentliche Flammenbogen ist darin allerdings nicht dargestellt, sondern nur die glühenden Kohlenenden selbst. Der Flammenbogen zeigt sich in Wirklichkeit bei diesem Versuch als ein schwach blauer hin- und herwogender Schein. Auf

den Kohlenenden sieht man fortwährend eine Menge von runden Partikelchen hin- und herlaufen und sich warzenförmig an beliebige Stellen ansetzen. Es rühren diese von Verunreinigungen der Kohlen her, welche durch die grosse Gluth schmelzen.

Die Kohlen brennen natürlich in der Glühhitze allmählich ab, und zwar, wie wir gesehen haben, die positive Kohle rascher als

Fig. 257.



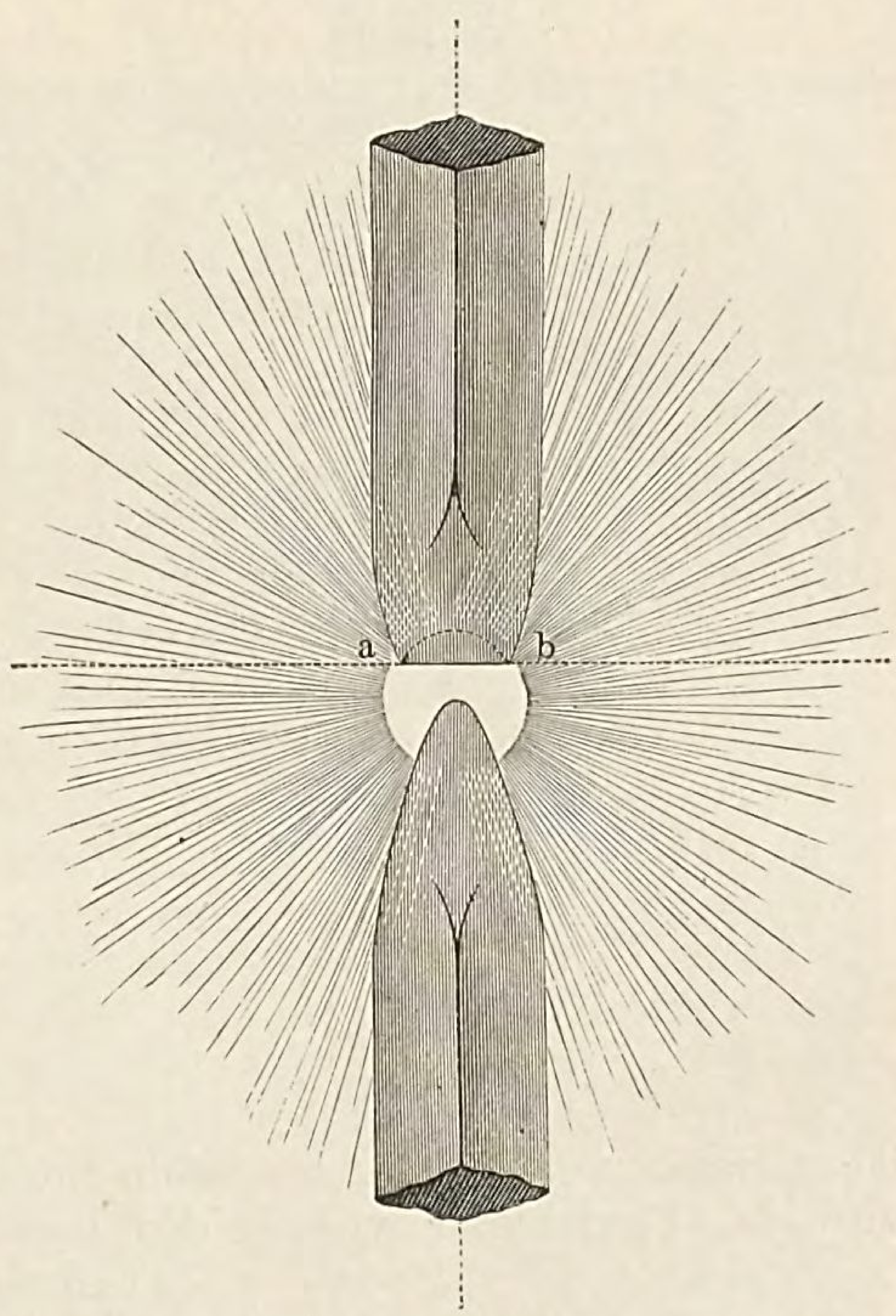
die negative. Hierbei ist vorausgesetzt, dass stets die eine Kohle mit dem positiven Pol einer Batterie oder einer Dynamomaschine für constanten Strom verbunden ist, während die andere mit dem negativen Pol derselben verbunden ist. Es lässt sich aber leicht einsehen, dass elektrisches Licht sich auch durch schnell wechselnde Wechselströme erzeugen lassen muss. Denn die Erwärmung der Elektroden hängt ja nach dem Joule'schen Gesetz ab von dem Quadrat der Stromstärke. Ob also der positive Strom in der einen Richtung oder in der anderen Richtung durch die Elektrode fliesst, die Erwär-

mung bleibt immer dieselbe, wenn die äusseren Verhältnisse dieselben bleiben. Von der Erwärmung hängt aber direkt die Lichtmenge ab, welche die Elektroden ausstrahlen können. Eigentlich sollte man glauben, dass elektrisches Licht überhaupt nur möglich sei, wenn ein ganz continuirlicher Strom durch die Kohlen fliesst, ein Strom, wie er durch galvanische Batterieen geliefert wird. Bei den Dynamomaschinen für constanten Strom fliesst die Elektricität ja auch nicht continuirlich durch den Schliessungskreis, sondern es sind nur eine sehr grosse Anzahl von einzelnen gleichgerichteten Strömen, welche durch den Schliessungskreis in sehr rascher Aufeinanderfolge hindurchgesendet werden. Macht z. B. eine Gramme'sche Maschine 800 Umdrehungen in der Minute und hat der Commutator 80 Theile, so wird (da die Bürsten einander gegenüberstehen) der Strom in jeder Minute 800×40mal unterbrochen, also 32000mal, und ebenso oft entsteht ein neuer Strom, der durch den Schliessungskreis gesendet wird. Es folgen sich also in einer Sekunde über 500 einzelne Ströme hinter einander, und diese Zahl ist so gross, die Intervalle sind so klein, dass diese Menge von Strömen zusammen den Eindruck eines einzigen Stromes machen. Wird elektrisches Licht durch einen solchen Strom erzeugt, so wird zwar auch der Strom 500mal in der Sekunde unterbrochen. Aber in der kurzen Zwischenzeit zwischen zwei solchen Strömen kann das Licht nicht erlöschen, weil die Temperatur nicht so rasch sinken kann, und das Auge, welches ja bekanntlich sehr rasch auf einander folgende Eindrücke nicht trennt, kann diesen raschen periodischen Wechsel in der Lichtstärke nicht erkennen. So macht das elektrische Licht, auch wenn es von Dynamomaschinen mit constantem Strom erregt wird, vollständig den Eindruck eines continuirlich, gleichmässig leuchtenden Lichtes, trotz oder wegen der ausserordentlich vielen Stromunterbrechungen. Nicht anders ist es nun auch, wenn Wechselströme durch die Kohlen gesendet werden. Die Richtung des Stromes kommt bei der Joule'schen Wärmeentwickelung gar nicht in Betracht, und wenn nur die Wechselströme rasch auf einander folgen, so erscheint das Licht absolut gleichmässig (falls nämlich die Regulirung eine vollkommene ist). Bei der Siemens'schen Wechselstrommaschine z. B., welche in Fig. 199 abgebildet ist, sind 8 Elektromagnetpaare und ebenso viele rotirende Spulen vorhanden, aus welchen zwei getrennte Stromkreise gebildet werden. Bei jeder ganzen Umdrehung finden also in jedem Stromkreis 8 Stromwechsel statt. Macht die Maschine, wie es in der Praxis gebräuchlich ist, 800 Umdrehungen in der Minute, so finden in jeder Sekunde über 100 Stromwechsel statt, eine Zahl, welche vollkommen ausreicht, um das durch die Ströme erzeugte Licht als ganz continuirlich erscheinen zu lassen.

In einer anderen Beziehung dagegen findet ein Unterschied im elektrischen Licht statt, je nachdem es von Wechselströmen oder von gleichgerichteten Strömen erzeugt wird. Wenn durch die Kohlen ein constanter, d. h. ein stets gleichgerichteter Strom fliesst, so brennt die positive Kohle rascher, ungefähr doppelt so rasch ab, als die negative Kohle, und es bildet sich an der positiven Elektrode eine leuchtende Vertiefung, ein leuchtender Krater. Bei den elektrischen Lampen

für constanten Strom, deren Beschreibung im Folgenden gegeben wird, wird nun stets die positive Kohle über die negative gestellt. Es bildet dann gewissermassen die positive Kohle einen Reflektor, durch welchen die Lichtstrahlen nach unten geworfen werden. Fig. 258 giebt eine Ansicht des Lichtes bei gleichgerichteten Strömen. Das Licht breitet sich nicht gleichmässig nach allen Seiten aus, sondern es wird mehr Licht nach unten geworfen, als nach den Seiten geht. Bei Anwendung von Wechselströmen dagegen wird abwechselnd jede Kohle bald positive, bald negative Elektrode. In Folge dessen brennen beide Kohlen gleich rasch ab; es bildet sich kein Krater in ihnen, sondern sie bleiben beide zugespitzt, wie sie es von vornherein waren. In Fig. 259 ist die Abbildung der Kohlen gegeben, wie sie bei der Beleuchtung durch Wechselströme erscheinen. Hier ist keine Richtung vor der anderen bevorzugt. Das Licht strahlt nach allen Seiten gleichmässig aus, so weit es nicht durch die Kohlen selbst an der Ausbreitung gehindert wird.

Fig. 258.



Lässt man daher eine Lampe frei, d. h. ohne Glocke brennen, so ist die Lichtstärke, welche man beobachten kann, ganz erheblich verschieden, je nach der Richtung, in welcher das Licht auf den messenden Apparat fällt. Es zeigte sich z. B. bei einer Lampe, die durch einen constanten gleichgerichteten Strom gespeist wurde, dass die Stärke des Lichtes, wenn es in horizontaler Richtung beobachtet wurde, nur etwa der fünfte Theil von der war, welche es zeigte, wenn es unter 60^0 gegen die Horizontale beobachtet wurde. Man muss deshalb elektrisches Licht, welches von constanten Strömen erregt wird, stets so hoch anbringen, dass die Strahlen unter bestimmtem Winkel auf die zu beleuchtende Fläche fallen. Bei Anwendung von Glocken werden die Unterschiede, wie wir sehen werden, vermindert.

Um ein Urtheil über die Helligkeit des elektrischen Lichtes zu haben, muss man dasselbe mit anderen leuchtenden Körpern vergleichen. Diese Vergleichung vorzunehmen, ist Aufgabe der praktischen Photometrie. Es liegt aber die Photometrie bisher noch ziemlich im Argen. Alle die Apparate, welche Lichtstärken zu vergleichen gestatten sollen, beruhen auf subjektiver Schätzung, welche für wissenschaftliche Zwecke

vollkommen ungenügend ist. Indess aus Mangel an besseren Methoden muss man damit sich vorläufig begnügen. Meistentheils verwendet man zur Vergleichung von Lichtstärken das Bunsensche Photometer. Es besteht dasselbe in seiner jetzt gebräuchlichsten Form, wie sie Fig. 260 abbildet, aus einem Blatt Papier, in dessen Mitte ein geölter, also durchscheinender Kreis m sich befindet. Das Papier befindet sich zwischen zwei Spiegeln MN und M′N′, die beide gleiche Winkel mit dem Papier bilden, so dass man das Bild des Oelflecks zu gleicher Zeit in beiden Spiegeln sehen kann. Stellt man nun auf beiden Seiten des Photometers Lichtquellen auf, so erscheint das Bild in dem einen Spiegel hell, in dem anderen dunkel. Hell erscheint dasjenige Bild, welches von der stärkeren Lichtquelle hervorgerufen wird, dunkel das andere. Man muss nun das Photometer so lange auf einer zwischen den beiden Lichtquellen befindlichen Bank verschieben, bis beide Bilder gleich hell erscheinen. Dann wird das Photometer von beiden Lichtquellen gleich hell beleuchtet und in diesem Falle verhalten sich die Lichtstärken der beiden Lichtquellen direkt wie die Quadrate ihrer Abstände vom Photometer. Man kann auf diese Weise Lichtstärken mit einander vergleichen.

Fig. 259.

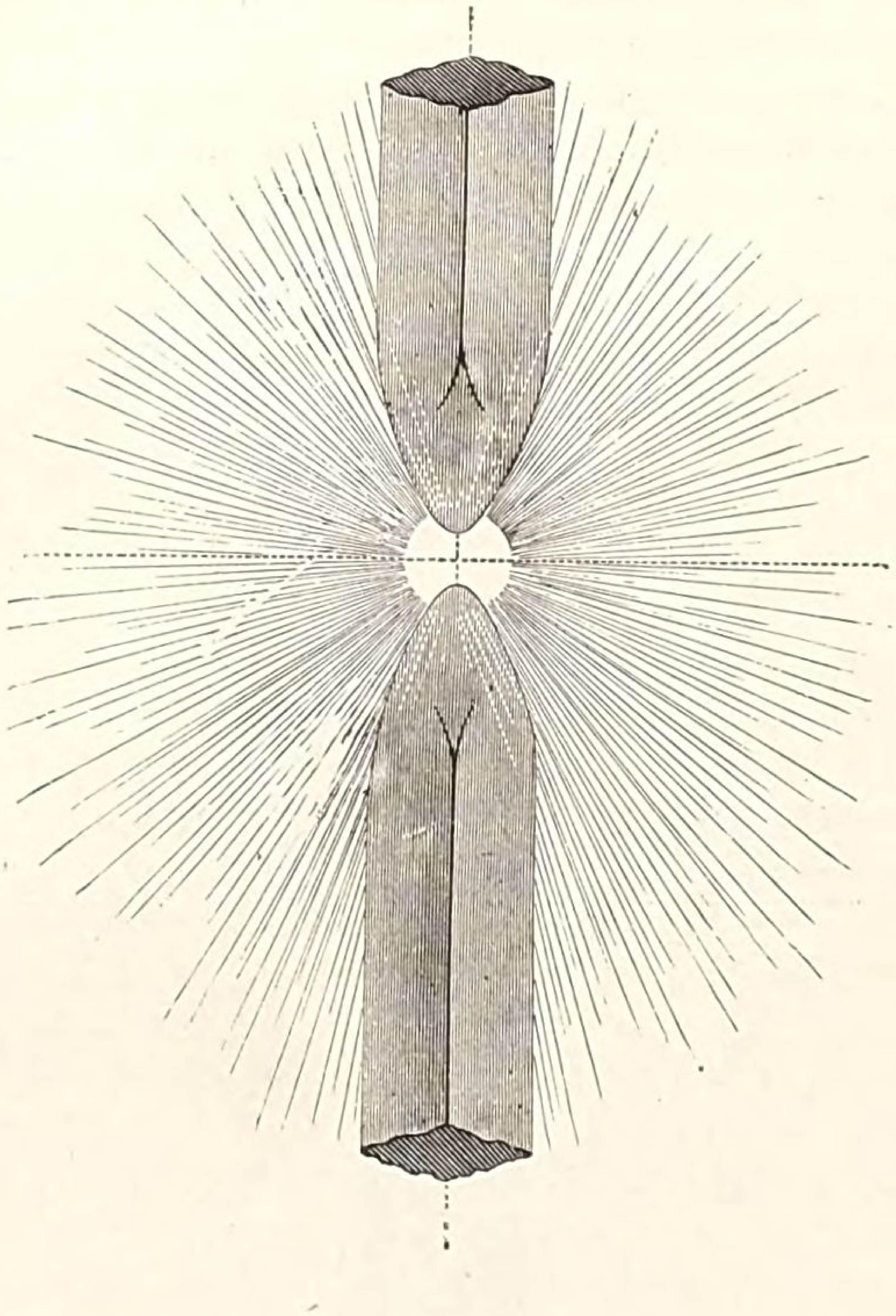
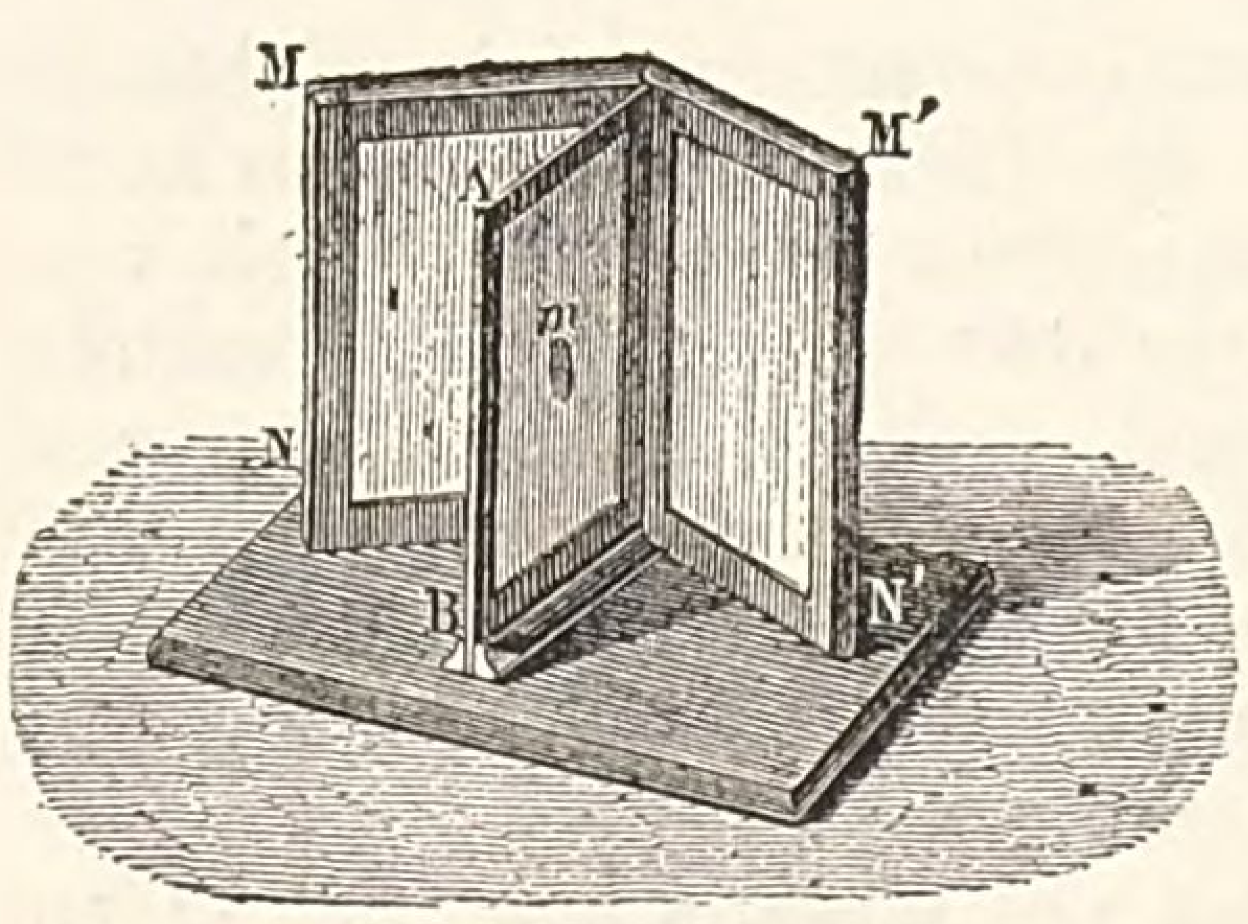


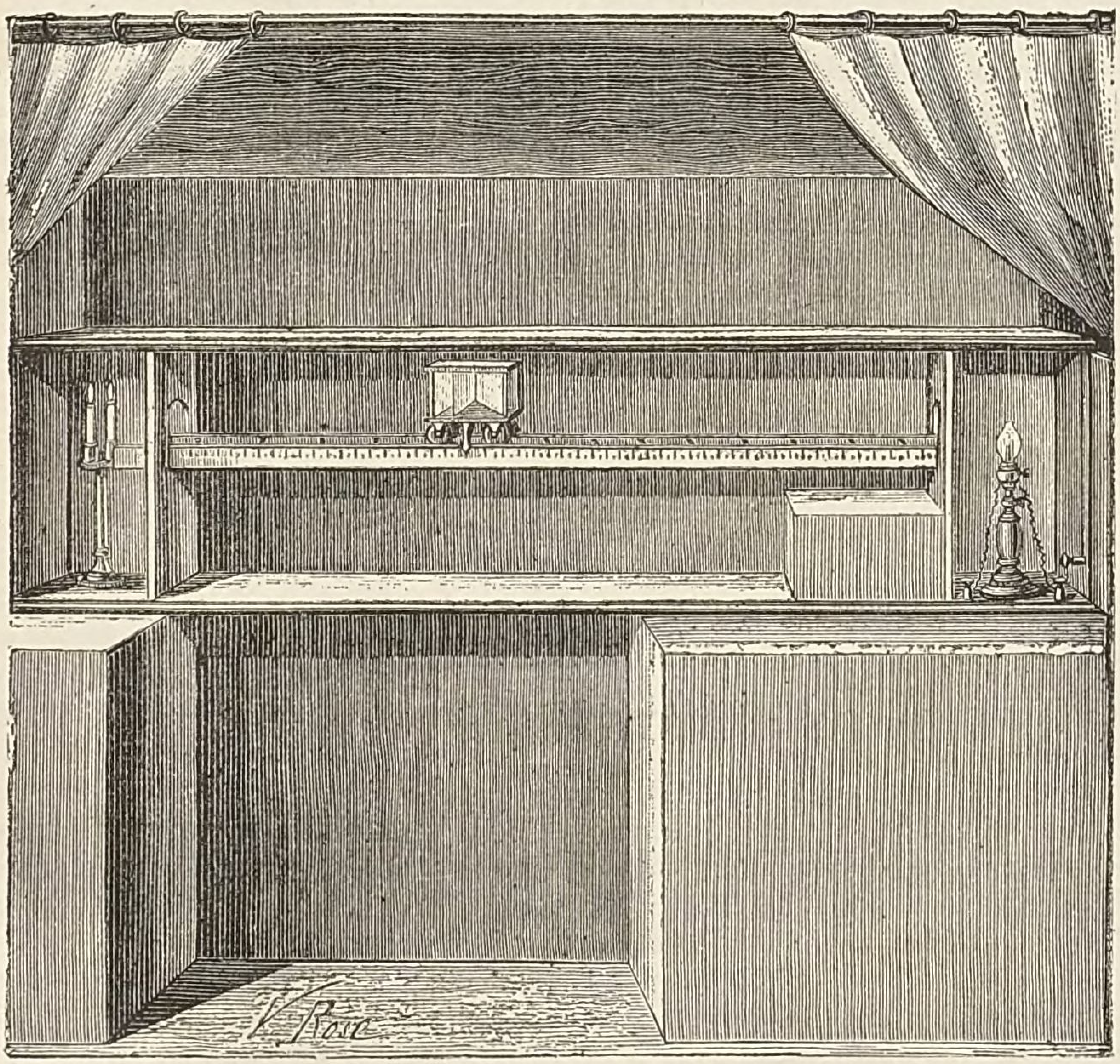
Fig. 260.



Das Photometer wird verschiebbar auf einer Bank angebracht, die mit einer Längstheilung versehen ist. Das Zimmer, in dem die photometrischen Messungen vorgenommen werden, muss natürlich ganz verdunkelt sein, so dass ausser von den zu vergleichenden Lichtquellen kein Licht auf das Photometer fällt. Eine photometrische Einrichtung, bei welcher das Photometer auf einem kleinen Wagen verschiebbar ist und welche zur Vergleichung von Glühlicht mit Kerzenlicht dient, zeigt Fig. 261.

Als Lichteinheit nimmt man bisher in Deutschland das Licht einer Kerze von bestimmter Grösse, die man Normalkerze nennt. Dieselbe ist eine Paraffinkerze von 20 Millimeter Durchmesser, deren Flamme eine Höhe von 50 Millimeter haben muss. Man sieht schon daraus, wie schwankend diese Einheit ist und wie unsicher daher auch die photometrischen Resultate alle sind. In Frankreich hat man als Einheit das Licht einer Moderateurlampe von 30 Millimeter Dochtweite genommen, welche in einer Stunde 42 Gramm Oel verbrennt. Man nennt diese Ein-

Fig. 261.



heit ein „Bec Carcel". Es entspricht 1 Bec Carcel 7,6 deutschen Normalkerzen, 1 Normalkerze also 0,13 Bec Carcels. In allerjüngster Zeit hat Hefner-Alteneck eine neue Lichteinheit vorgeschlagen, die wohl wegen des Rufs ihres Autors und wegen ihrer inneren Vorzüge in Aufnahme kommen dürfte. Diese Lichteinheit nennt er 1 Kerzennormalbrenner und definirt sie als die Leuchtkraft einer Flamme von 40 Millimeter Höhe, welche aus einem mit Amylacetat getränkten Docht von 8 Millimeter innerem und 8,2 Millimeter äusserem Durchmesser aufsteigt. Sie hat ungefähr die Grösse einer englischen Normalkerze, aber den Vorzug der sicheren, stets gleichmässigen Herstell-

barkeit. Eine deutlichere Vorstellung von der Lichtstärke wird man erhalten, wenn man sich merkt, dass eine gewöhnliche Strassengasflamme eine Helligkeit von ungefähr 16 Normalkerzen hat. Eine internationale Commission hat im Frühjahr 1884, um auch in die Lichtmessungen eine Gleichförmigkeit zu bringen, bestimmt, dass als Einheit der Stärke des weissen Lichts diejenige gelten soll, welche ein Quadratcentimeter schmelzenden Platins ausstrahlt.

Die Helligkeit des elektrischen Lichtes hängt natürlich ab von der Stärke des Stromes, welcher durch die Kohlen hindurchgeht, und diese hängt wieder bei unverändertem Gesammtwiderstand des Stromkreises ab von der elektromotorischen Kraft der Maschine, also von der Tourenzahl derselben. Mit erhöhter Tourenzahl steigt die Lichtstärke, wenn nicht die äusseren Verhältnisse sich ändern, also z. B. die Maschine zu warm wird. So fand z. B. Fontaine bei der Untersuchung einer Lampe von Serrin, die von einer Gramme'schen Maschine gespeist wurde, folgende zusammengehörigen Werthe von Lichtstärke und Tourenzahl:

Tourenzahl per Minute	Mittlere Lichtstärke in Normalkerzen
700	2432
725	3694
750	4484
800	5548
850	7418
900	8755
1000.	9839.

Es wurde zugleich die gesammte Arbeit gemessen, welche zur Erzeugung des Stromes von der Arbeitsmaschine (5pferdige Gasmaschine) aufgewendet werden musste. Es zeigt sich so, dass man je nach der Tourenzahl pro Pferdekraft eine Lichtstärke von 988 bis 2166 Normalkerzen erhalten konnte und dass das Verhältniss von Lichtstärke zu verbrauchter Arbeit um so günstiger wird, je schneller die Dynamomaschine rotirt. Innerhalb dieser Grenzen bewegen sich auch bei allen anderen Versuchen die von einer Pferdekraft erzeugten Lichtstärken. Man kann im Mittel annehmen, dass man immer von einer Pferdekraft bei normaler Tourenzahl durch das Bogenlicht eine Lichtstärke von ungefähr 1500 Normalkerzen erlangen kann, wenn von einer Maschine blos ein Licht erzeugt wird. Je grösser die Lichtstärke bei gleichem Arbeitsaufwand ist, desto besser ist die Dynamomaschine für Beleuchtungszwecke eingerichtet.

Die Lichtstärke einer elektrischen Lampe hängt auch wesentlich davon ab, wie gross die Zwischenschicht zwischen den beiden Elektroden, die Länge des Lichtbogens, ist. Man kann das sofort übersehen. Bei einer Vergrösserung des Abstandes der Kohlenspitzen wird zwar der wirkliche Widerstand des Kreises grösser, und zwar nach Massgabe dieser Verlängerung. Dagegen bleibt die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens unter sonst gleichen Umständen dieselbe. Es wird also zwar bei gleicher Tourenzahl der Maschine die gesammte Stromstärke im Kreise durch Vergrösserung des Lichtbogens kleiner, aber in geringerem Masse, als die Vergrösserung des Lichtbogens be-

trägt. Dadurch wird aber die gesammte entwickelte Wärme- und Lichtmenge, da sie ja von dem Quadrat der Stromstärke und dem Widerstand des Kreises direkt abhängt, eine grössere, wenn der Lichtbogen grösser gemacht wird. Natürlich findet das nur in sehr geringen Grenzen statt. Denn wenn der Abstand der Kohlenspitzen zu gross wird, so kann bei einer bestimmten Tourenzahl der Maschine die elektromotorische Kraft diesen Widerstand gar nicht mehr überwinden. Das Licht hört dann auf. Für geringe Grenzen in der Veränderung der Lichtbogenlänge giebt die nachstehende Tabelle, welche aus Versuchen von Fontaine entnommen ist, eine deutliche Einsicht in die Abhängigkeit des Arbeitsverbrauchs von der Lichtbogenlänge. Es wurde wieder die obige Gramme'sche Maschine benutzt und dieselbe wurde constant auf einer Zahl von 750 Umdrehungen in der Minute gelassen. Nun wurden die Kohlen der Serrin'schen Lampe mit ihren Spitzen in verschiedene Abstände einander gegenüber gebracht, von 5 Millimetern bis zur Berührung. Dann wurde die mittlere Lichtstärke und die aufgewendete Arbeit gemessen und so ergab sich:

Abstand der Kohlenspitzen Millimeter	Mittlere Lichtstärke in Normalkerzen	Pro Pferdekraft Normalkerzen
5	5335	2288
4	4879	1968
3	4484	1778
2	3892	1627
1	3420	1102
0.	2128.	469.

Es ergab sich also eine Zunahme der Lichtstärke bei gleichem Arbeitsaufwand, wenn man die Kohlenspitzen immer weiter trennte, bis zu 5 Millimeter Abstand. Aber bei dieser Entfernung war das Licht schon sehr unruhig, es ging häufig aus; es war die Grenze beinahe erreicht, bei welcher der Strom nicht mehr hindurchgeht. In Folge dessen ist für den praktischen Gebrauch eine solche Länge des Lichtbogens nicht anwendbar. Man beschränkt sich in der Praxis jetzt allgemein darauf, dem Lichtbogen eine Länge von 3 Millimeter zu geben.

Wenn die beiden Kohlen einander berühren, so geht der Strom direkt zwischen ihnen durch, der Widerstand ist nicht mehr gross genug, um eine bedeutende Erwärmung hervorzubringen, die Kohlenenden kommen nicht ins Weissglühen, es bildet sich gar kein elektrisches Licht. Allmählich brennen die Kohlen ab, der Abstand ihrer Enden vergrössert sich, es bildet sich der elektrische Flammenbogen. Hat man aber auch den Kohlen zuerst einen passenden Abstand gegeben, so dass der Lichtbogen eine passende und brauchbare Länge hat, so muss, wenn die Kohlen fest stehen, dieser Abstand sich während des Brennens von selbst fortwährend vergrössern und es muss bald der Fall eintreten, dass der Strom den Widerstand der Luftschicht nicht mehr überwinden kann. Der Strom hört dann auf und mit ihm das elektrische Licht.

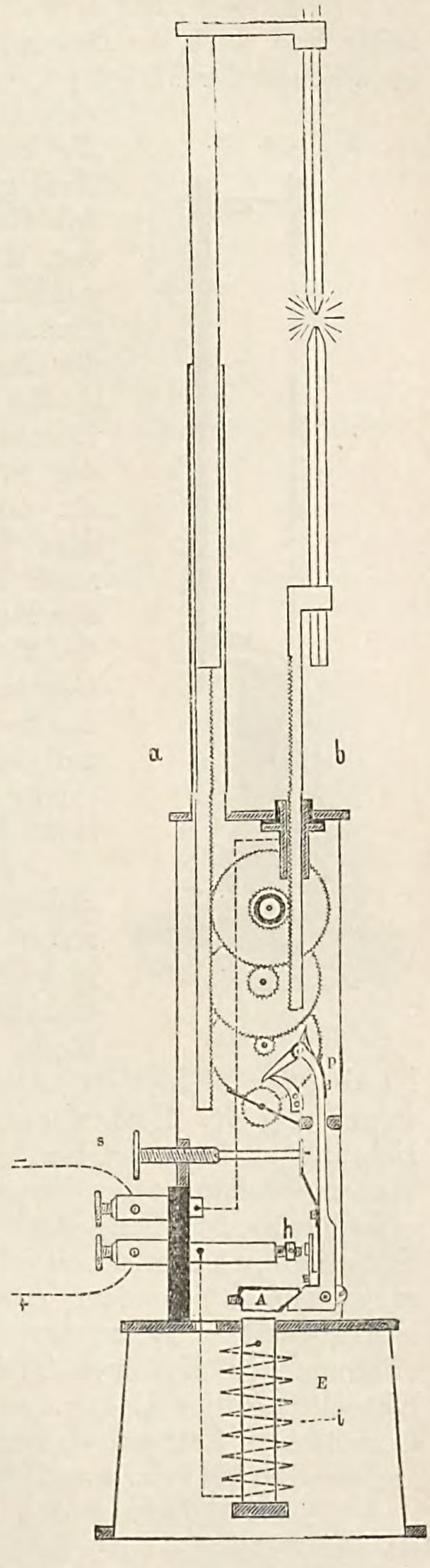
Es war mithin die erste Forderung für die praktische Benutzung des elektrischen Lichtes, die Kohlenstäbe beweglich zu machen, eine

Regulirung zu ersinnen, durch welche die Kohlen stets auf gleichen Abstand von einander gebracht werden. Diese Regulirung musste eine Reihe von Forderungen erfüllen. Erstens musste sie die Kohlenenden, die von selbst beim Brennen in immer grösseren Abstand von einander kommen, immer wieder einander entgegenbringen, so dass das Licht immer wieder in gleicher Stärke sich entwickelt. Zweitens aber ist der Strom, der durch die Kohlen geht, von selbst auch nicht immer von gleicher Stärke. Denn durch die unvermeidlichen Unregelmässigkeiten beim Maschinenbetrieb, durch eine Verminderung oder Vergrösserung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Dynamomaschine wird die elektromotorische Kraft und dadurch bei gleichem Widerstand auch die Stromstärke vermindert und vermehrt. Es musste also die Regulirung auch die Funktion übernehmen, dass der Abstand der Kohlenspitzen sich danach richtet, ob der Strom stärker oder schwächer in die Kohlen kommt, dass bei schwächerem Strom der Abstand der Kohlen sich vermindert, um den Widerstand kleiner zu machen, bei stärkerem Strom dagegen sich vergrössert, um den Strom so weit zu schwächen, bis er wieder normal wird. Diese beiden Aufgaben sollten nothwendig von jeder Regulirung erfüllt werden. Es wurden deshalb schon seit Beginn der Verwendung des elektrischen Lichtes für Vorlesungszwecke derartige Regulatoren construirt, welche man kurz als elektrische Lampen bezeichnet. Es ist selbstverständlich, dass eine solche feine Regulirung, welche jeder Schwankung des Stromes folgen muss, nicht möglich ist, ohne dass man den Strom selbst zu dieser Regulirung benutzt. Es muss der Strom, wenn er schwächer wird, von selbst die beiden Kohlen einander nähern, und wenn er stärker wird, sie von selbst von einander entfernen, so dass sie stets in gleichem Abstande von einander sind. Die Kohlen während des Abbrennens einander zu nähern, das ist eine mechanisch leicht zu lösende Aufgabe. Man braucht ja nur die untere Kohle fest zu stellen und die obere langsam beweglich zu machen, so dass sie durch ihr eigenes Gewicht beständig sinkt. Es handelt sich dann blos bei der Regulirung darum, zu verhindern, dass die obere Kohle zu weit sinkt, und vielmehr zu bewirken, dass sie immer gerade bis zur passenden Entfernung an die untere Kohle heranrückt.

Für die Regulirung des Lichtbogens nun ergab sich als einfachstes Mittel die Anwendung eines Elektromagneten. Wenn man den Strom, der das Licht erzeugen soll, um einen Kern von weichem Eisen herumführt, so hat man ja in diesem eine Vorrichtung, welche je nach der Stärke des Stromes starke oder schwache Bewegungen hervorbringen kann. Die Stärke der Anziehung eines Elektromagneten ist ja bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen direkt abhängig von der Stärke des Stromes, der durch seine Windungen fliesst. Man braucht also nur den Polen des Elektromagneten einen Anker von weichem Eisen gegenüberzustellen, welcher drehbar befestigt ist, um je nach der Stärke des Stromes eine grössere oder geringere Bewegung dieses Ankers zu erhalten. Diese Bewegung des Ankers kann man dann durch gewöhnliche mechanische Mittel mittelst Rädern und Zahnstangen oder sonst irgendwie auf die eine Kohle übertragen. Wenn aber der

Anziehung des Elektromagneten keine Kraft entgegen wirken würde, so würde der drehbare Anker stets möglichst weit an den Magneten herangezogen werden. Um dies zu verhindern, muss man der Anziehung des Magneten eine Kraft entgegen wirken lassen, welche ihn von demselben abzuziehen sucht. Eine solche Kraft hat man z. B. in einer Feder, welche, wenn der Magnet den Anker nach unten zieht, ihn nach oben zu ziehen sucht. Bei einer bestimmten Stellung des Ankers herrscht dann Gleichgewicht zwischen der Anziehung des Magneten und der Feder. Jede Vergrösserung der Stromstärke macht den Magneten stärker, zieht also den Anker herab und spannt dadurch die Feder. Durch diese Herabbewegung des Ankers bringt man nun eine Entfernung der Kohlen von einander hervor, dadurch wird der Strom schwächer, der Elektromagnet ebenfalls, die Anziehung der Feder überwiegt und bringt dadurch den Anker und die Kohle wieder auf die normale Entfernung.

Fig. 262.

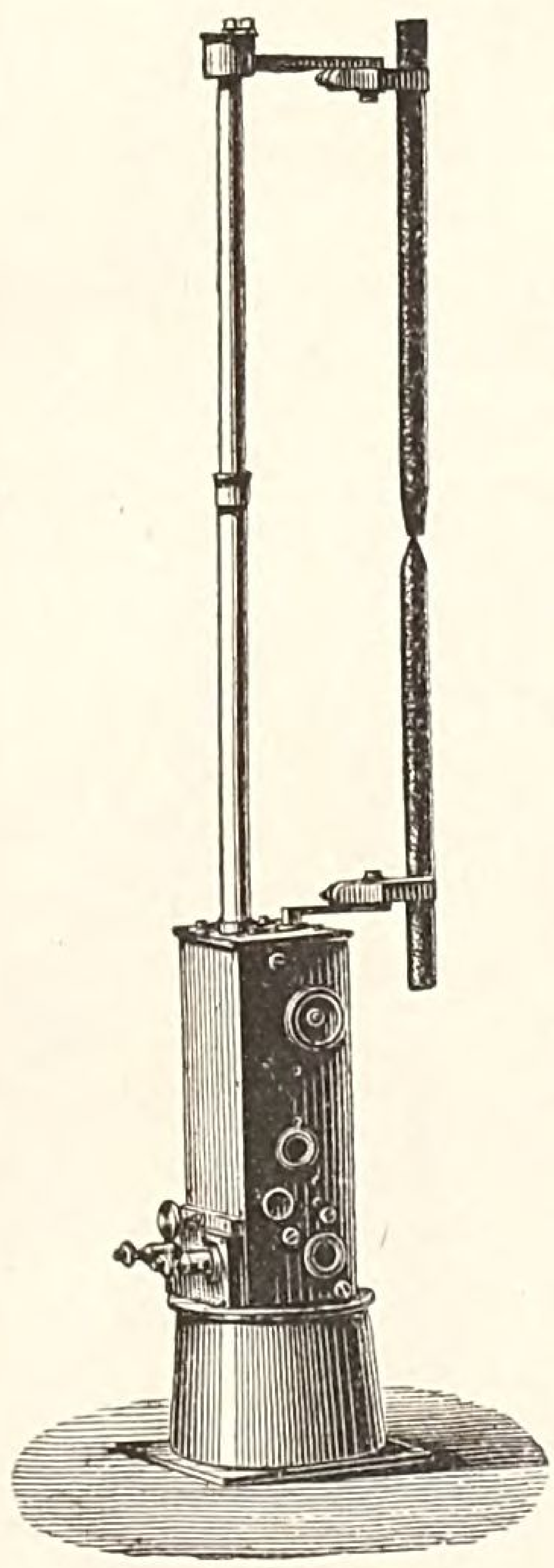


Nach diesen Principien im Allgemeinen ist die erste elektrische Lampe von Foucault-Dubosq construirt worden, welche auch jetzt noch sehr häufig zu Projektionen angewendet wird. Diese, ebenso wie die Lampe von Serrin sind jedoch noch recht complicirt gebaut. Bei den neueren Lampen strebt man im Allgemeinen danach, eine möglichst einfache und sichere Construktion hervorzubringen. Als ein Beispiel dieser Art kann die in Fig. 262 und 263 abgebildete Lampe von Hefner-Alteneck dienen, die vielfach, insbesondere in Laboratorien, in Gebrauch ist. Bei jeder elektrischen Lampe hat man zwischen der elektrischen und mechanischen Regulirung zu unterscheiden. Die elektrische Regulirung besteht, wie erwähnt, in einem Elektromagneten E, der einen Anker A anziehen kann. Mit diesem Anker ist der Hebel p fest verbunden. Durch die Schraube s wird eine Feder gespannt, welche der Ankeranziehung entgegen wirkt.

Die mechanische Regulirung wird durch 3 Räder und 2 Zahnstangen

bewirkt. Die beiden Kohlen sind an den Zahnstangen befestigt, welche in die Zähne des obersten Rades eingreifen, und zwar der obere Kohlenhalter am Umfang des grossen Rades, der untere am Umfang eines halb so grossen, auf derselben Axe befindlichen. Durch das zweite und dritte Rad wird die Bewegung auf das kleine unterste Rad übertragen, in welches der Hebel p eingreifen kann. Das Räderwerk wird durch eine Uhrfeder in Gang gesetzt. Dadurch laufen die beiden Kohlen zusammen, bis zur Berührung. Nun geht der Strom durch den Elektromagneten, das Gehäuse des Apparates, in die obere Kohle, von dieser in die untere und von dort (in der punktirten Linie) zurück zur Maschine. Der starke Strom macht nun E magnetisch, dadurch wird der Anker A angezogen und der Hebel p greift in das kleine Rad ein, welches dadurch etwas zurückgedreht wird und damit die Kohlen aus einander bringt. Zu gleicher Zeit findet aber jetzt ein direkter Contakt an der Stelle h statt, so dass der Strom nicht mehr um den Elektromagneten E geht. Der Anker wird also losgelassen, der Hebel p geht aus dem kleinen Rad heraus und die Kohlen bewegen sich wieder gegen einander. Dadurch wird A wieder angezogen, und so geht das Spiel fort, durch welches der Lichtbogen stets auf gleicher Länge erhalten wird. Die äussere Ansicht einer solchen Lampe (zu Projektionszwecken) stellt Fig. 263 dar.

Fig. 263.



Da die Lampe zur Regulirung nur die Anziehung des Magnetes E auf den weichen Eisenanker benutzt, so lässt sie sich ebenso gut für gleichgerichtete Ströme, wie für Wechselströme benutzen, da die Stärke des Magneten dieselbe bleibt und es auf die Art des oberen Poles, ob er Nord- oder Südpol ist, nicht ankommt. Man erkennt aus dieser Beschreibung der Hefner'schen Lampe, dass ausser der elektrischen Einrichtung noch eine feine, rein mechanische Einrichtung dazu gehört, um eine Lampe zu vollkommener Regulirung zu bringen. Das Haupterforderniss ist eben, dass die Bewegung der Kohlen jeder kleinsten Stromschwankung unmittelbar folgt und dass diese Bewegung keine ruckweise ist, sondern eine ganz allmähliche. Natürlicherweise lässt sich sowohl in Bezug auf die rein mechanische Ausführung und Anordnung der einzelnen Theile, als auch in Bezug auf die elektrische Einrichtung des Regulators vieles ändern, und in der That ist eine Unzahl von Lampen construirt worden, welche in der einen oder der anderen Hinsicht wesentliche oder unwesentliche Veränderungen zeigt.

In Hinsicht auf den rein mechanischen Theil der Construktion ist zum Beispiel die Lampe von Bürgin noch einfacher als die eben beschriebene und dabei doch sehr leistungsfähig. In dieser Lampe, deren Regulirungsvorrichtung in Fig. 264 schematisch gezeichnet ist,

befindet sich ein einziges Rad R, mit welchem die obere Kohle durch eine Kette verbunden ist. Die Kohle sucht durch ihr eigenes Gewicht zu sinken und kann es auch, so lange nicht die Bewegung des mit ihr verbundenen Rades gehemmt wird. Diese Hemmung des Rades wird nun durch den Strom selbstthätig besorgt. Das Rad steht nämlich mit dem Anker A in fester Verbindung, welcher mit Draht umwickelt ist, und den Polen des Elektromagneten E E, gegenüberliegt. Die Drahtwickelungen sind so eingerichtet, dass der Elektromagnet und der magnetisch gewordene Anker mit entgegengesetzten Polen einander gegenüberliegen. Sobald daher der Strom eintritt, wird die magnetische Wirkung so stark, dass der Anker A gehoben wird, bis die entsprechenden Pole einander gegenüberliegen. Der Anker A ist zum Zwecke der Hebung und Senkung durch zwei drehbare Arme p p an dem Gehäuse der Lampe befestigt. Durch die Hebung des Ankers wird nun zugleich das Rad R mitgehoben, welches mit A fest verbunden ist, und zwar so lange, bis es an die Feder F fest andrückt, welche seine weitere Drehung hemmt. Dadurch haben sich nun die Kohlen von einander getrennt, der Lichtbogen hat sich entwickelt. Durch das Abbrennen der Kohlen wird der Strom schwächer, der Anker A senkt sich und das Rad R kann sich wieder drehen, so dass die Kohlen einander wieder langsam näher kommen. So geht die Regulirung langsam und stetig weiter. Bei einer gewissen Stärke des Stromes wird der Anker an den Elektromagneten angezogen und dadurch das Rad gehemmt, bei schwächerem Strom wird der Anker losgelassen und dadurch das Rad frei.

Fig. 264.

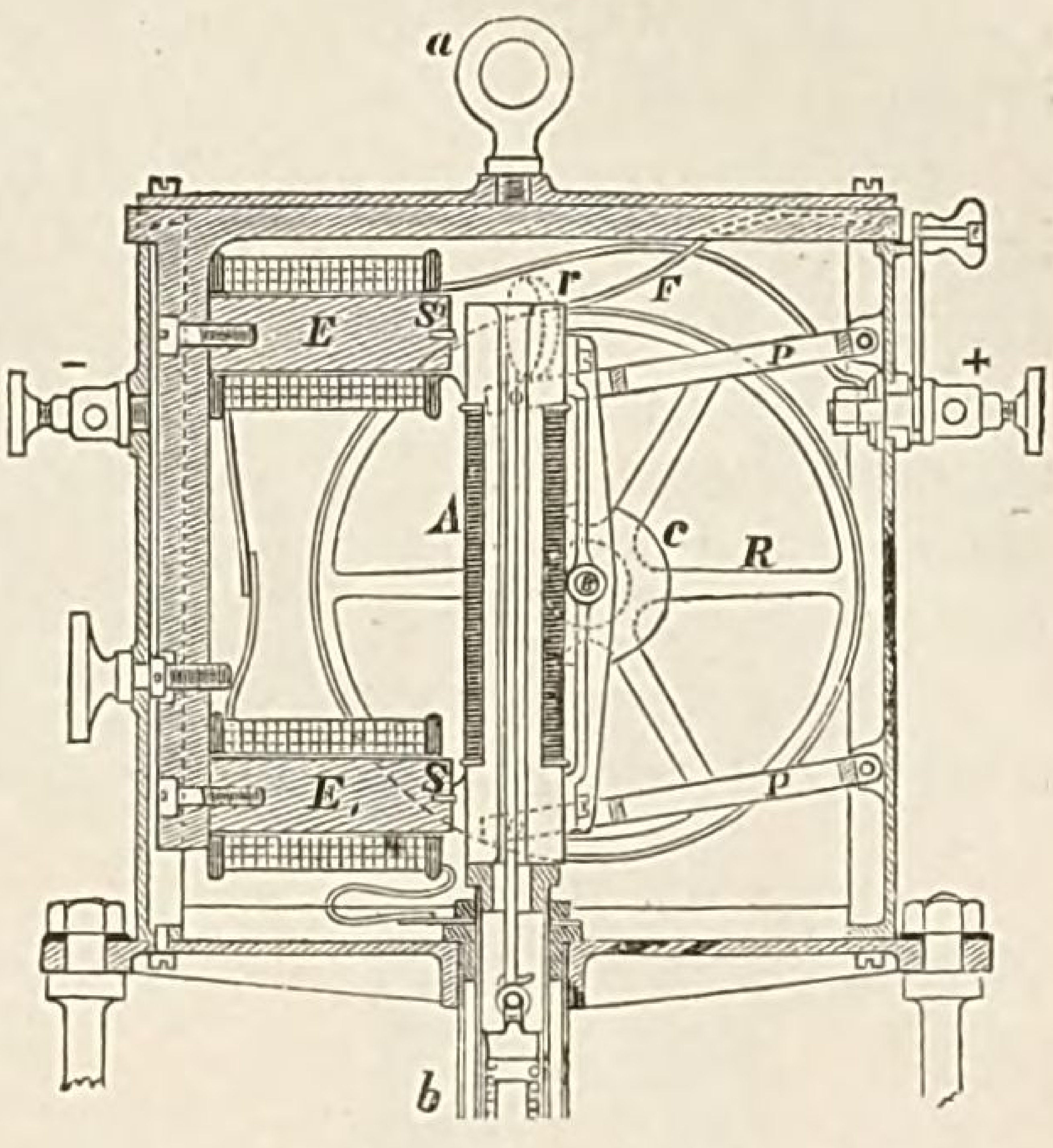
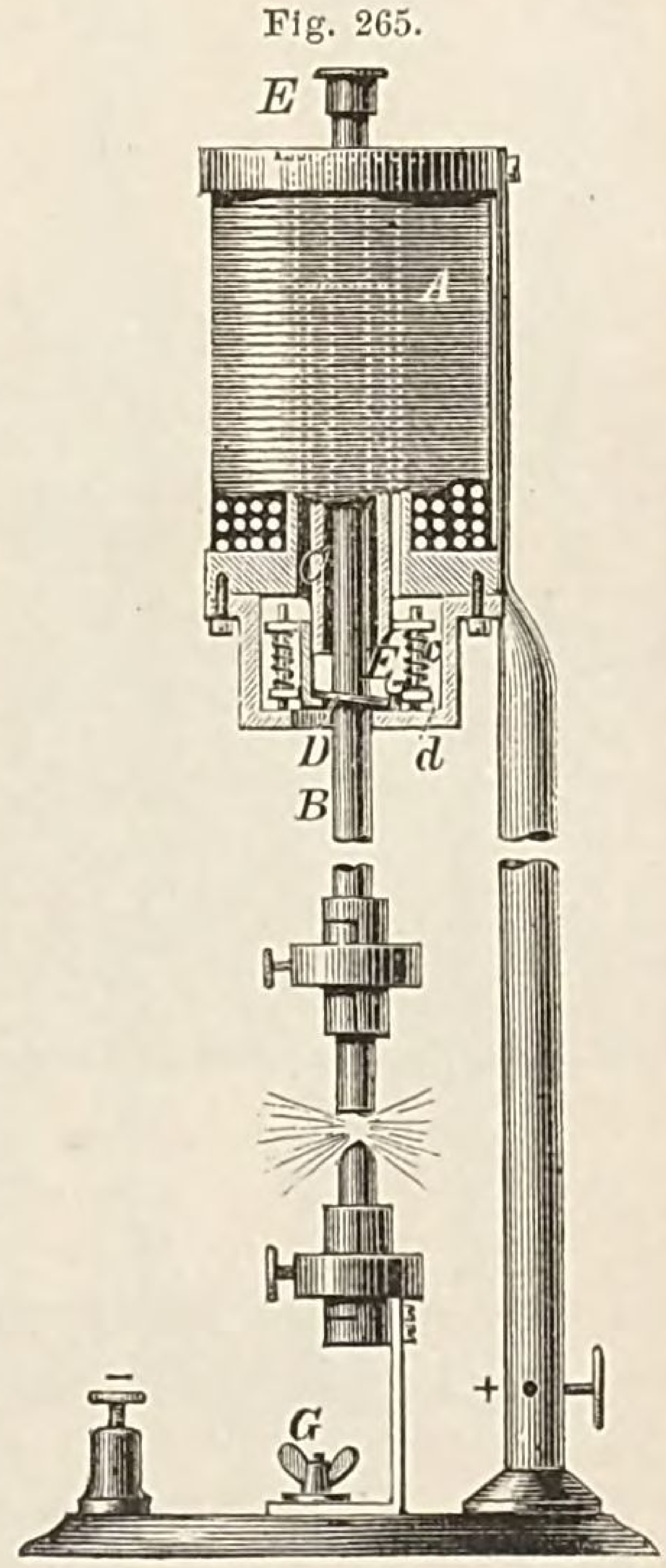


Fig. 265.



Noch einfacher in Hinsicht auf den Mechanismus ist die Lampe von Brush, von der eine Abbildung in Fig. 265 gegeben ist. Auch bei dieser ist die untere Kohle fest, die obere Kohle beweglich. Der obere Kohlenhalter E B aus Eisen befindet sich frei beweglich in der eisernen Röhre C, welche selbst beweglich ist, und geht mit sehr geringem Spielraum durch einen Friktionsring bei D hindurch. Dieser Ring wird bei einer aufwärts gehenden Bewegung der

Röhre C durch einen an ihr befestigten Arm einseitig gehoben (in der Figur ist er gehoben gezeichnet) und gestattet dann dem Kohlenhalter keine abwärts gehende Bewegung mehr. Zuerst sind die Kohlen in Berührung. Sobald der Strom hindurchgeht, wird durch die bald zu erörternde elektrische Einrichtung die Röhre C und mit ihr der Friktionsring gehoben, so dass der obere Kohlenhalter nicht mehr sinken, sondern in Folge der magnetischen Wirkung der Röhre nur noch nach oben gezogen werden kann. Bei einer Schwächung des Stromes wird der Friktionsring wieder fallen gelassen, der Kohlenhalter kann sich wieder abwärts bewegen. Um die Bewegung des Kohlenhalters recht gleichmässig und ruhig zu machen, wird die Röhre C mit Glycerin gefüllt. Durch die Zähigkeit des Glycerins wird die Bewegung verlangsamt.

In der allereinfachsten Weise endlich ist die mechanische Regulirung bei einer von Sedlaczek construirten Lampe hervorgebracht,

Fig. 266. (L. é.)

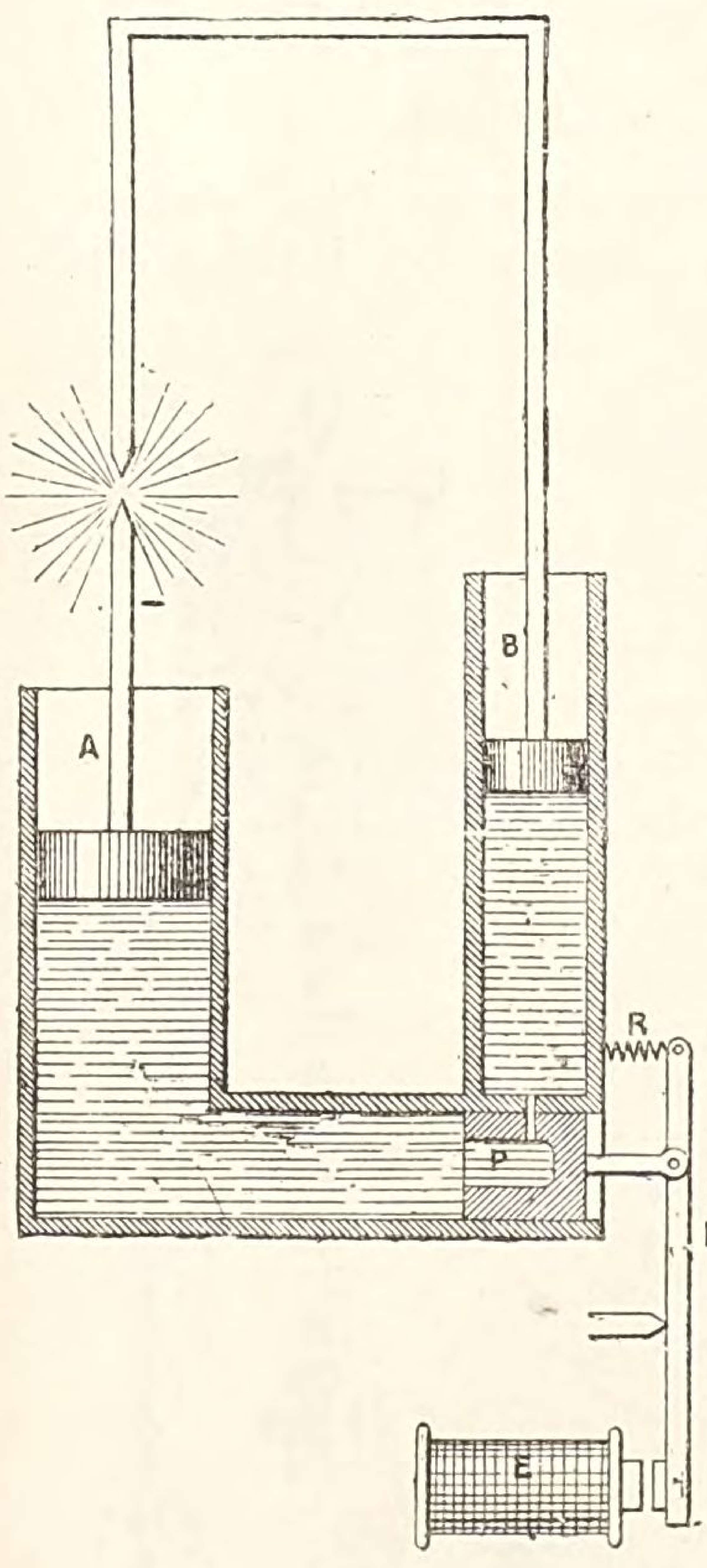
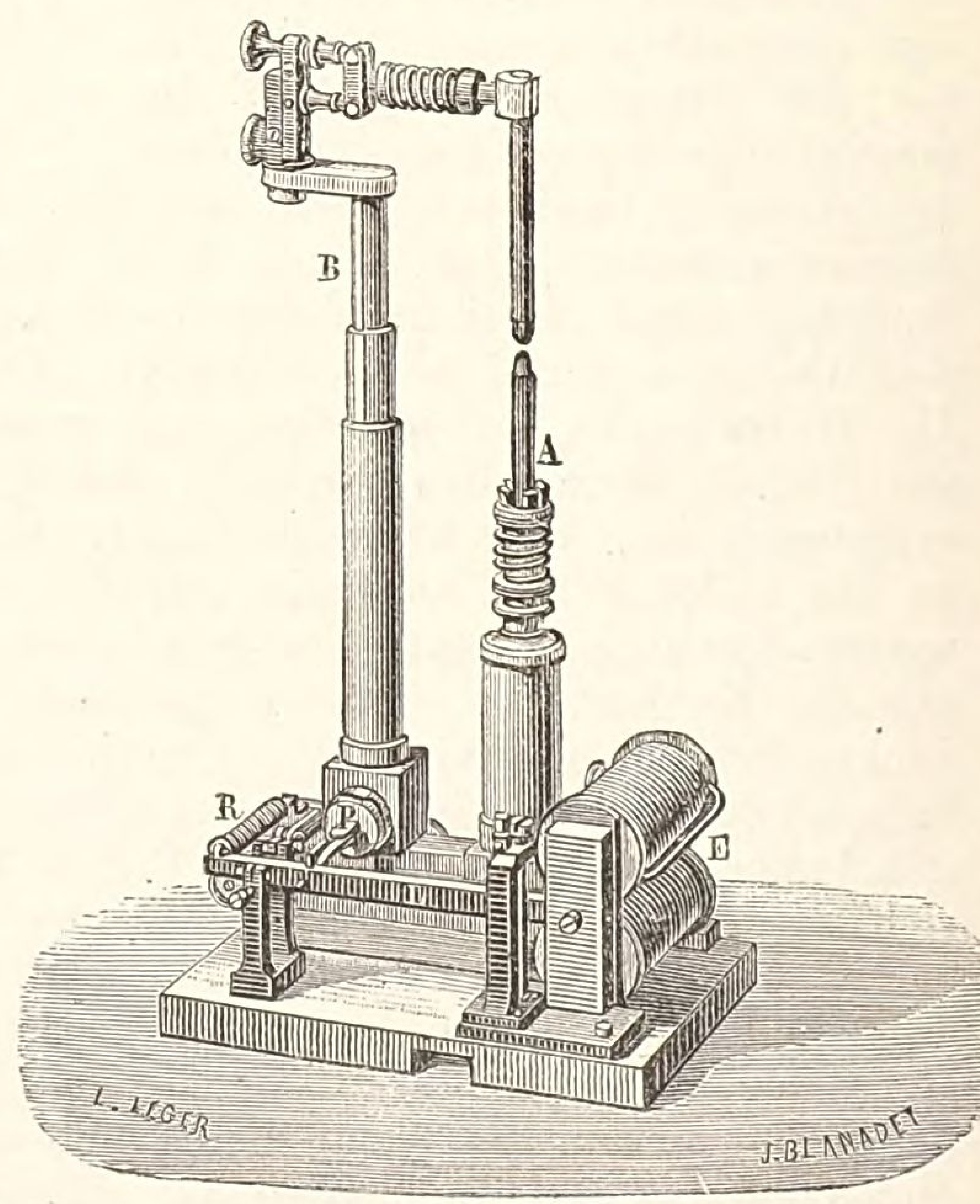


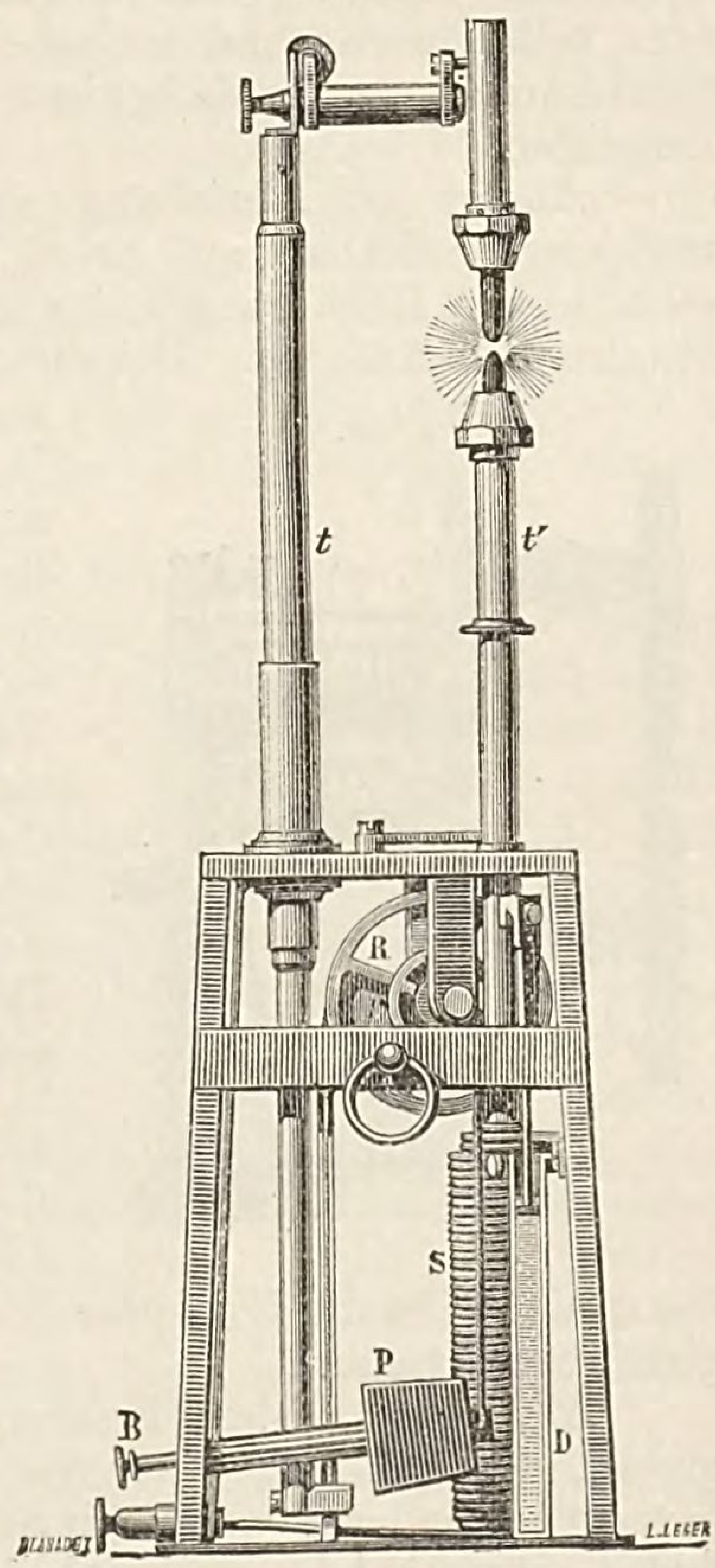
Fig. 267. (L. é.)



einer Lampe, welche insbesondere auf Lokomotiven und Schiffen verwendet wird und deren Regulirung daher von den unvermeidlichen Stössen und Schwankungen nicht beeinflusst werden darf. In dieser Lampe, welche in Fig. 266 schematisch und in Fig. 267 vollständig

abgebildet ist, sind zwei communicirende Röhren A und B mit Glycerin gefüllt. Auf die Flüssigkeit drücken die dicht anschliessenden Kolben, welche mit dem oberen und unteren Kohlenhalter fest verbunden sind. Der obere Kohlenhalter ist schwerer, drückt daher stärker auf die Flüssigkeit und treibt in Folge dessen den unteren in die Höhe, so dass die beiden Kohlen zusammenlaufen. In diesem Moment geht der Strom durch den Elektromagneten E, der seinen Anker anzieht und mit diesem den kleinen Kolben P zum Theil herauszieht. Dadurch vergrössert sich der Raum von B, der untere Kohlenhalter sinkt, während der obere fest stehen bleibt, da seine Flüssigkeit abgesperrt ist. Wird dann durch das Abbrennen der Strom in E zu schwach, so zieht die Feder R den Hebel L und damit auch den Kolben P wieder hinein, die Flüssigkeiten in beiden Schenkeln gleichen sich durch die kleine Oeffnung von P aus und das Spiel beginnt von Neuem. Diese Lampen bewähren sich bei praktischem Gebrauch auf Lokomotiven zu voller Zufriedenheit.

Fig. 268.

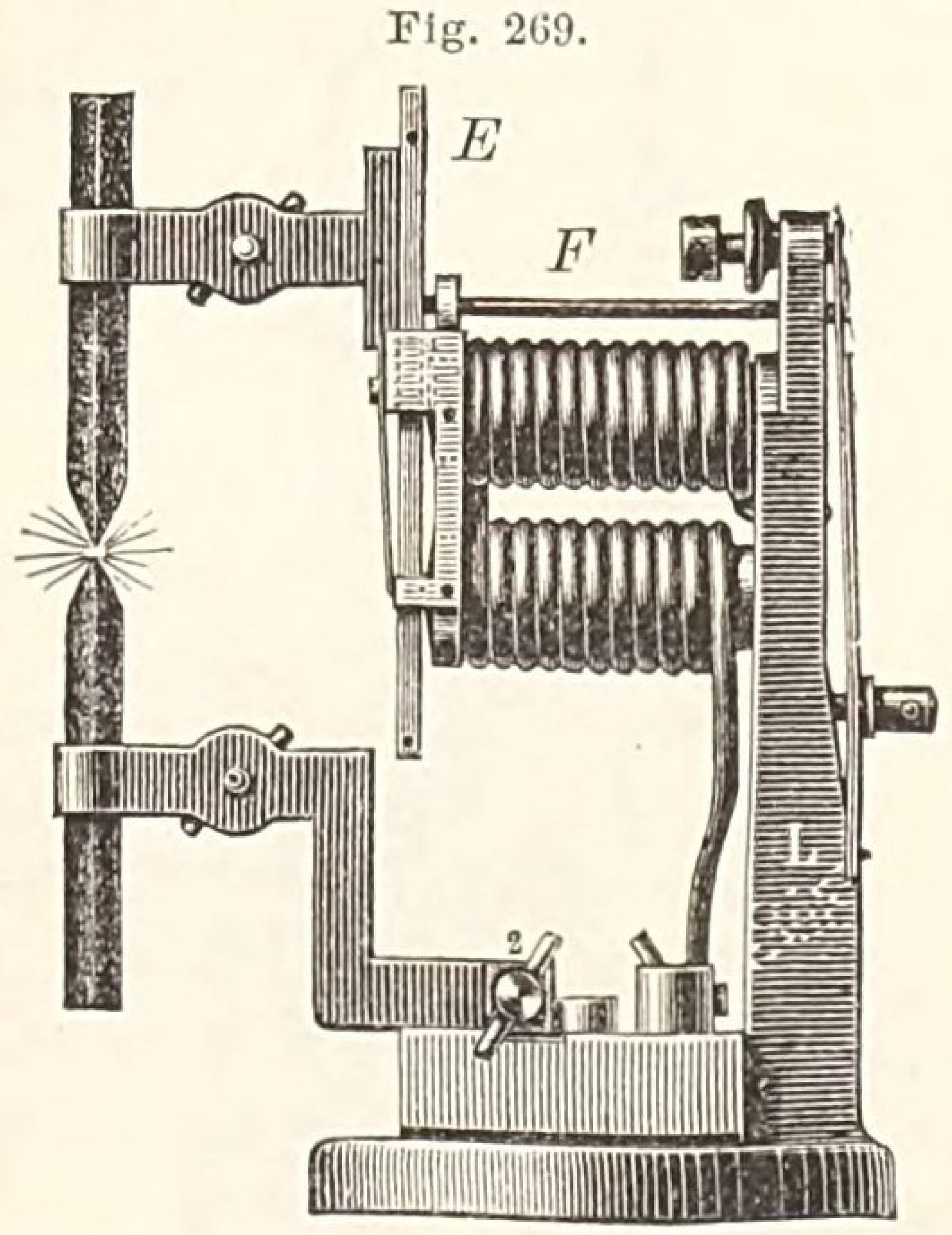


Der zweite wesentliche Theil des Regulirungsapparates ist der elektrische. Von vornherein bot sich als einfachste Einrichtung dar, den Strom erst um einen Elektromagneten und dann durch die Kohlen zu leiten, so dass Regulirungsapparat und Kohlen hinter einander in demselben Stromkreise liegen und so Stromschwankungen sich von selbst reguliren. Statt des Elektromagneten, der einen Anker anzieht, kann man aber mit Vortheil auch eine Drahtspirale, ein Solenoid nehmen, welches ja, wie wir wissen, weiches Eisen in sich hineinzieht, wenn es von einem Strome durchflossen ist. Man braucht dann nur den einen Kohlenhalter aus Eisen zu machen und ihn in einer Drahtspirale schweben zu lassen, dann wird durch die magnetisirende Kraft der Spirale dieses Eisen bald mehr, bald weniger in die Spirale hineingezogen, je nach der Stromstärke, und dadurch der Kohlenabstand selbstthätig regulirt. Eine derartige Vorrichtung ist z. B. bei der Lampe von Jaspar benutzt, welche in Fig. 268 abgebildet ist. Der rein mechanische Theil derselben ist sehr einfach. Der obere Kohlenhalter t ist durch eine Kette mit dem äusseren Umfange des Rades R

verbunden, der untere Kohlenhalter t′ mit dem Umfange des kleineren, auf derselben Axe sitzenden Rades. Der obere Kohlenhalter sinkt durch sein eigenes Gewicht (welches grösser ist als das von t′) und dreht daher das Rad nach einer Richtung, wodurch zugleich t′ gehoben wird. Von selbst also haben die beiden Kohlen fortwährend das Bestreben, sich einander zu nähern. Im Moment nun, wo zuerst Berührung der Kohlenspitzen eintritt, fliesst der Strom von A durch die obere Kohle zur unteren, dann durch die Drahtspirale S zur Maschine zurück. Dadurch erhält also die Spirale eine anziehende Kraft und zieht den Eisencylinder, in welchen t′ ausgeht, in sich hinein, so dass die Kohlen nun aus einander gehen. Je weiter aber die Kohlen aus einander gehen, desto schwächer wird der Strom, desto geringer die anziehende Kraft der Spirale, und so bekommt das Gewicht des oberen Kohlenhalters wieder die Oberhand. Die Kohlen nähern sich wieder. Auf diese Weise wirken Anziehung des Solenoids und Gewicht der oberen Kohle einander stets entgegen und bewirken eine sehr vollkommene und einfache Regulirung. Auch die oben beschriebene Lampe von Brush bedient sich eines Solenoids statt eines Elektromagneten.

Ausser der Anziehung eines Elektromagneten auf einen Anker und eines Solenoids auf einen Eisenkern ist noch eine dritte Art der elektrischen Regulirung bei einigen Lampen angewendet, die magnetische Klemmung. Bei dieser gleitet der obere Kohlenhalter, der aus Eisen besteht, vor den Polen eines Magneten und wird beim Stromdurchgang angehalten, resp. etwas gedreht. Diese Regulirung ist z. B. bei der Nebenlampe von Siemens (Fig. 269) angewendet, welche dazu dient, im Falle des Erlöschens einer Hauptlampe einige Zeit die Beleuchtung zu übernehmen. In dieser Lampe trägt die Eisenstange E die obere Kohle. Sie sinkt von selbst vor den Polen des Magneten bis zur Berührung der Kohlen. Dann aber wird sie, sobald der Strom durchgeht, angezogen und dreht sich ein klein wenig um das dachförmige Ende des unteren Pols. Dadurch werden die Kohlenspitzen von einander entfernt, das Licht flammt auf, die Kohlen brennen ab, die Feder F zieht E wieder in die frühere Lage und das Spiel beginnt von Neuem.

Fig. 269.



Alle diese bisher beschriebenen Lampen leiden aber an einem grossen Mangel. Eine jede von diesen Lampen funktionirt nur brauchbar, wenn sie ganz allein im Schliessungskreis einer Maschine sich befindet, wenn nicht noch andere Lampen in demselben Stromkreis brennen. Die Regulirung dieser Lampen wird ja dadurch besorgt, dass durch die Schwächung des Stromes die Kohlen einander genähert werden, bei Verstärkung des Stromes sie von einander entfernt werden.

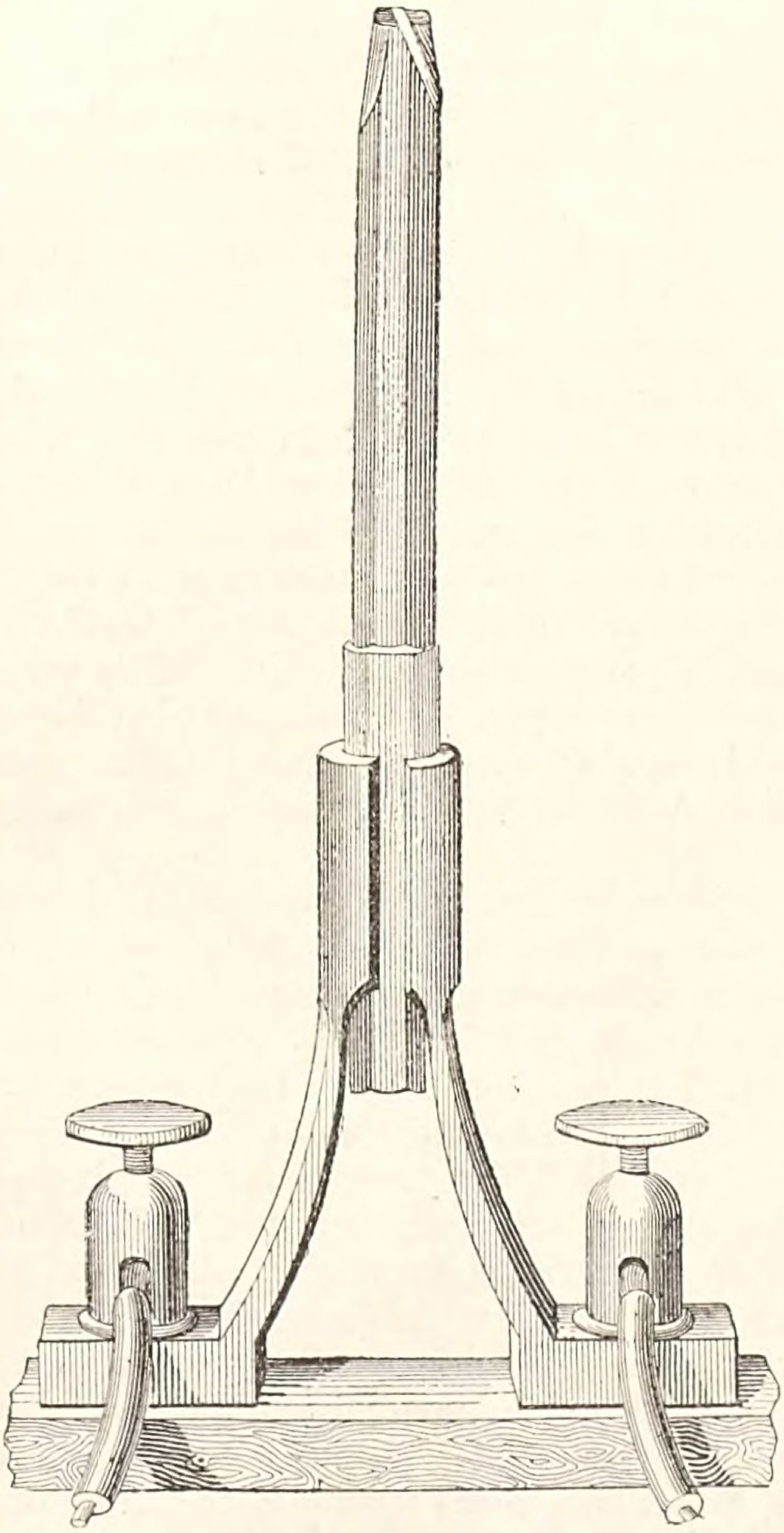
Woher diese Schwächung oder Verstärkung des Stromes rührt, das ist gleichgültig. Die Schwächung kann herrühren von den Vorgängen in der Lampe selbst, vom Abbrennen der Kohlen u. s. w., sie kann aber auch durch unregelmässigen Gang der Maschine hervorgerufen werden. Wenn nun zwei oder mehrere Lampen hinter einander in einem Stromkreise sich befinden, so kann man sofort einsehen, dass die Regulirung dann illusorisch wird. Nehmen wir an, es brennen blos zwei Lampen hinter einander in demselben Stromkreis. Die erste brenne grade normal, bei der zweiten seien die Kohlen zu weit aus einander. Dann wird die Regulirung die Kohlen der zweiten Lampe nähern, also den gesammten Strom verstärken. In Folge dieser Verstärkung muss die Regulirung der ersten Lampe in Thätigkeit kommen und deren Kohlen aus einander bringen. Jetzt brennt also die zweite Lampe vielleicht normal, während die erste schlecht brennt. Noch schlimmer ist es, wenn mehr als zwei Lampen in einen Stromkreis eingeschaltet werden sollen. Was der einen Lampe nutzt, das schadet der anderen. Es findet ein ewiger Kampf ums Dasein zwischen allen Lampen statt. Es war daher lange nicht möglich, von einer Maschine aus mehrere Lampen hinter einander in einem Stromkreise zu unterhalten, weil die Regulirung jeder Lampe auf alle anderen mit einwirkt und zwar störend einwirkt. Es schien also, als ob eine Theilung des elektrischen Bogenlichts unmöglich sei. Man hätte eben grade für jede einzelne Lampe eine eigene Dynamomaschine haben müssen, was die Kosten der Anlage so theuer gemacht hätte, dass das elektrische Licht gar keine Aussicht auf allgemeine Einführung gehabt hätte.

In gewisser Weise liess sich wohl diesem Uebelstand durch eine besondere Construktion der Lichtmaschinen abhelfen. Man construirte die Maschinen so, dass man nicht nur einen einzigen, sondern mehrere von einander unabhängige Stromkreise mit ihr bilden konnte. Dann konnte man in jeden von diesen Kreisen eine eigene Lampe einschalten und sie durch ihren besonderen Strom speisen lassen. In dieser Weise sind z. B. die Maschinen von de Méritens und die von Bürgin und Anderen construirt, welche oben beschrieben wurden. Abgesehen davon, dass dadurch ebenso viele vollständige Leitungen gelegt werden müssen, als Lampen vorhanden sind, was die Anlage sehr vertheuert, kann man dabei gar nicht von einer Theilung des Lichtes sprechen. Jede Lampe wird auch hier von einer eigenen Maschine getrieben, nur dass die verschiedenen Maschinen manche Theile gemeinsam haben. Deswegen arbeiten auch diese Maschinen nicht ökonomisch. Sind drei Lampen in drei Zweige eingesetzt, so ist ihre Lichtstärke zusammen viel geringer als die Lichtstärke einer einzigen Lampe, welche von der Maschine als Ganzes gespeist würde.

Durch diese scheinbare Unmöglichkeit, das elektrische Licht zu theilen, war die elektrische Beleuchtung zu einer Krisis gekommen, zu einer Krisis, welche zuerst überwunden wurde durch eine ebenso einfache wie geniale Idee eines russischen Ingenieurs, Jablochkoff, im Jahre 1876. Jablochkoff fragte sich mit Recht, wozu man denn so complicirte und unzuverlässige Mechanismen ersinne, um die Kohlenspitzen stets

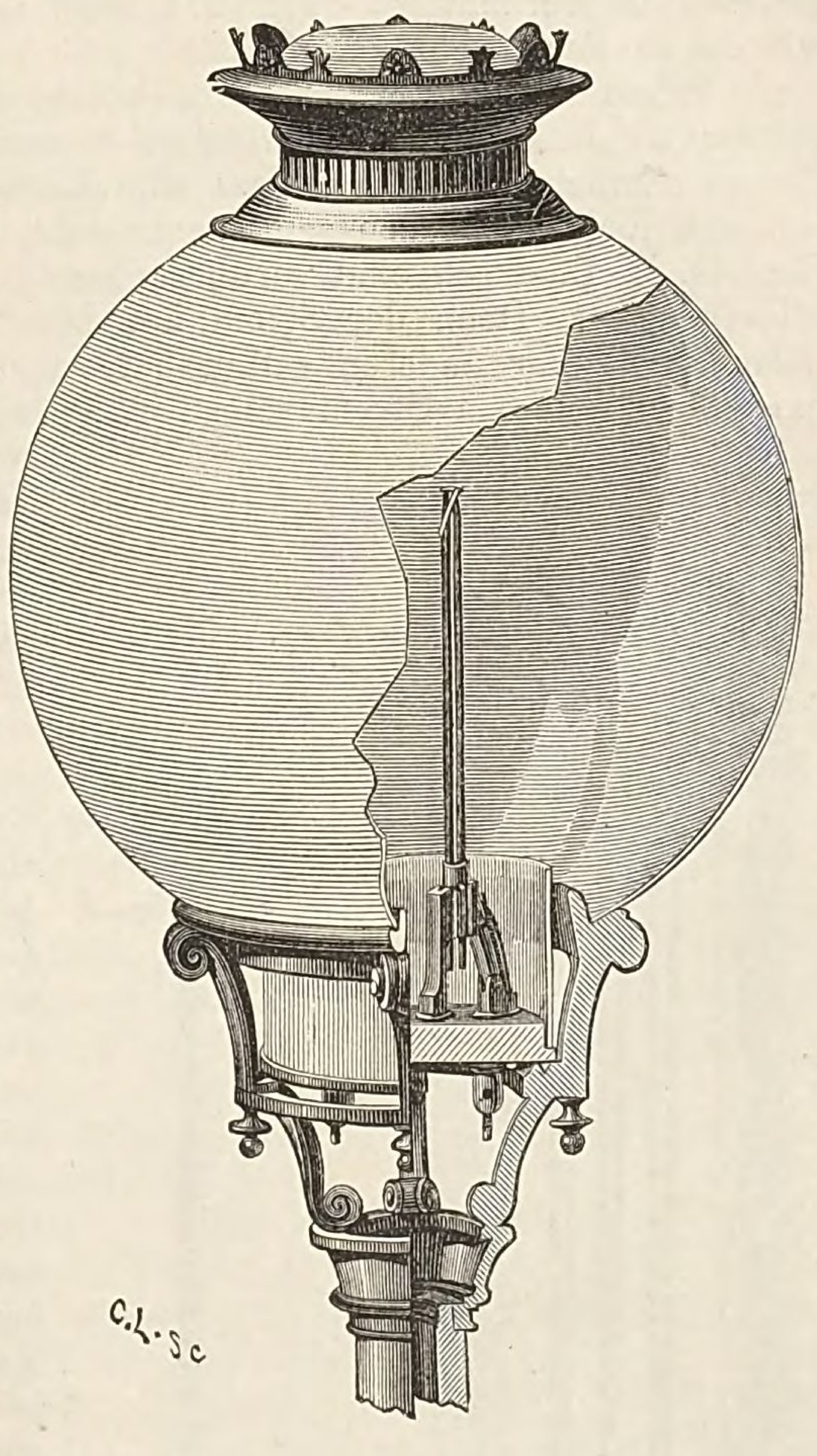
wieder auf gleichen Abstand von einander zu bringen, wenn man es doch ganz leicht erreichen könne, dass sie von selbst stets in gleichem Abstand seien und bleiben. Man brauche ja nur die Kohlen nicht einander gegenüber zu stellen, wodurch sich der Abstand ihrer Enden durch Abbrennen stets verändere, sondern man brauche sie ja nur neben einander fest aufzustellen. Dann haben ihre Enden einen einmal festgesetzten Abstand von einander und behalten diesen stets bei, wenn man nur dafür sorge, dass sie gleichmässig rasch abbrennen. Jablochkoff stellte also zwei dünne Kohlenstäbchen neben einander in einen Abstand von etwa 3 Millimeter und füllte den Zwischenraum zwischen ihnen mit einer isolirenden, leicht schmelzbaren Substanz aus. Diese Combination nennt man eine Jablochkoff'sche Kerze. In Fig. 270 ist eine Abbildung derselben gegeben. Die beiden Kohlenstäbchen von etwa 200 Millimeter Länge und 4 Millimeter Durchmesser sind durch die weiss gezeichnete Zwischenschicht von einander getrennt. Jede Kohle ist in Verbindung mit einer Messinghülse, in welche durch Klemmschrauben die Leitungsdrähte eingeführt werden. Die isolirende Zwischenschicht dient dazu, um zu bewirken, dass der elektrische Lichtbogen nur zwischen den oberen Enden der Kohlen sich bildet. Sie ist gewöhnlich aus Gyps oder Kaolin gemacht. Durch die Hitze des Flammenbogens schmilzt die Zwischenschicht allmählich weg und erlaubt so den Kohlen, abzubrennen. Ausserdem mischen sich noch ihre Partikelchen, die in Dampf aufgehen, mit dem Flammenbogen und erhöhen dadurch die Leuchtkraft desselben. Eine Schwierigkeit liegt auf der Hand, lässt sich aber einfach beseitigen. Wenn nämlich der Strom in die Kohlen eingeleitet wird, so kann sich der Lichtbogen zuerst gar nicht bilden, weil die Kohlen ja nicht in Berührung sind. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, legte Jablochkoff

Fig. 270.



zwischen die obersten Enden der beiden Kohlen ein dünnes Graphitblättchen. Durch dieses geht der Strom hindurch, schmilzt es, während zugleich die Kohlen ins Glühen kommen, und so bildet sich sofort der Flammenbogen, der nun ungestört weiter andauert und allmählich, wenn die Kohlen abbrennen und die Zwischenschicht schmilzt, immer tiefer heruntergeht, bis die Kohlen verbraucht sind. Die isolirende Zwischenschicht erhöht dabei die Lichtstärke bedeutend, da die Theilchen derselben weissglühend werden. Vorausgesetzt ist hierbei immer, dass die beiden Kohlen gleich rasch abbrennen. Das ist nun, wie wir wissen, nicht der Fall, wenn man gleichgerichtete Ströme durch die Kerze sendet. Denn dann brennt die positive Kohle etwa doppelt so rasch ab wie die negative. Man müsste dann der positiven Kohle einen doppelt so grossen Querschnitt geben wie der negativen Kohle. Jedoch hat sich gezeigt, dass dadurch doch kein gleichmässiges Brennen der Kohlen erzielt wird, weil das Verhältniss der Geschwindigkeit, in welchem die Kohlen abbrennen, nicht stets sich ganz gleich bleibt. Es ist in Folge dessen nothwendig, zum Betriebe der elektrischen Kerzen Wechselströme zu nehmen. Denn dadurch werden beide Kohlen, wenn sie nur gleich dick sind, absolut gleichmässig verbraucht. Dies ist einer der Gründe, der trotz der sonstigen Vorzüge der Maschinen für gleichgerichtete Ströme doch bewirkt, dass noch immer Wechselstrommaschinen gebaut werden.

Fig. 271.



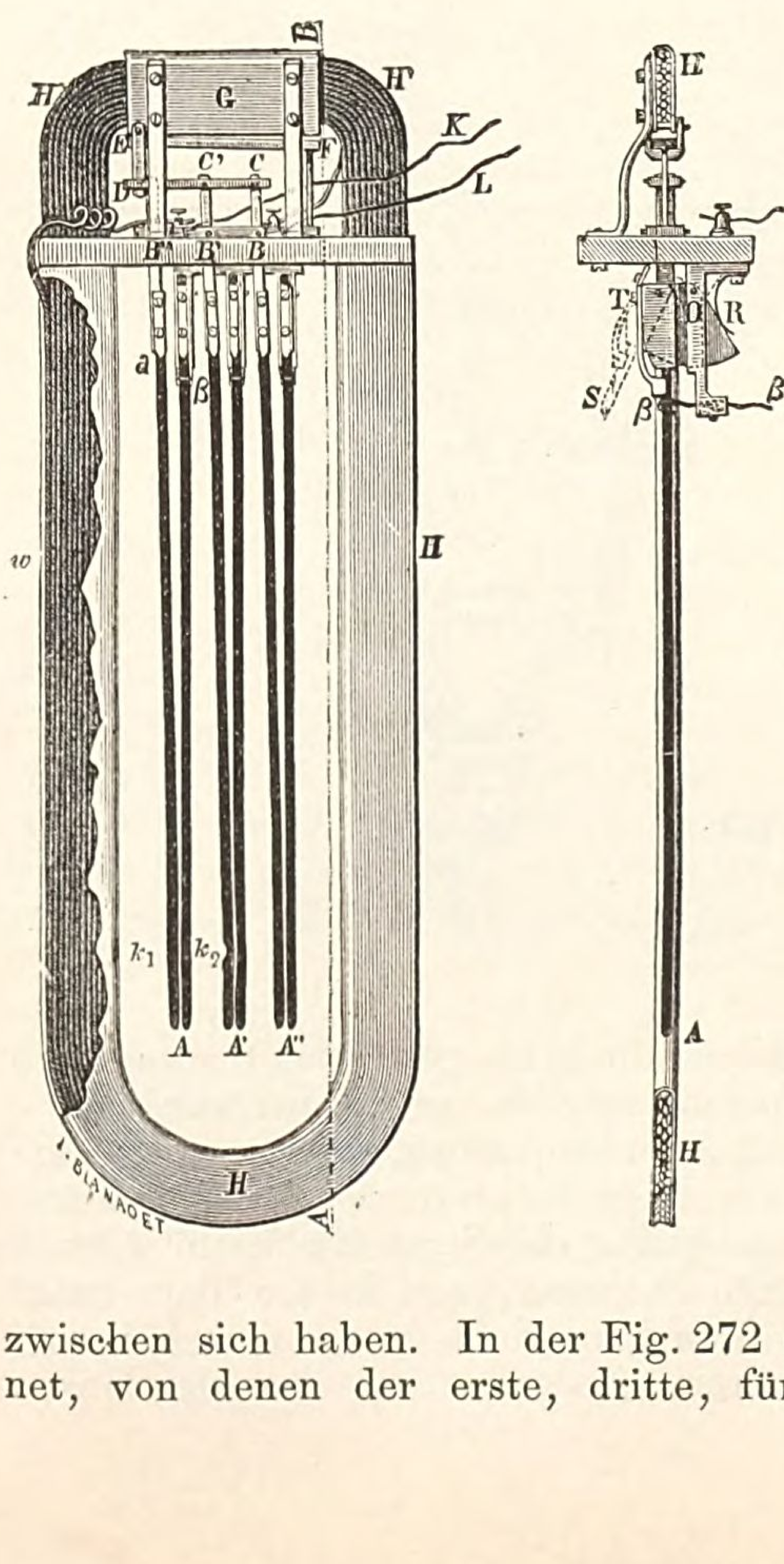
Die Jablochkoff'schen Kerzen erlauben nun selbstverständlich eine ziemlich weitgehende Theilung des Lichtes. Denn da der Widerstand der Kohlen sich nicht ändert, so bleibt die Stromstärke im ganzen Kreise stets dieselbe, falls nur die Schwankungen in der Tourenzahl der Maschine unbedeutend sind. Man kann dann hinter einander eine Reihe von Kerzen in den Stromkreis einschalten, so dass der Strom

von der ersten zur zweiten, von dieser zur dritten u. s. w. fliesst. Diese Erfindung von Jablochkoff, die so überaus einfach ist, wurde auch sofort praktisch ausgeführt. Mehrere Strassen und grosse Gebäude in Paris wurden mit diesen Kerzen beleuchtet, und ihnen grade ist die rasche Ausbreitung des elektrischen Lichtes hauptsächlich zu danken. Gewöhnlich befinden sich in einer Glocke mehrere Kerzen, welche sich der Reihe nach selbstthätig entzünden, wenn die vorhergehende abgebrannt ist. Fig. 271 zeigt eine Jablochkoffsche Lampe, wie sie in Paris gebraucht wird.

Indess haben die Kerzen doch eine Reihe von Nachtheilen, die schwer zu beseitigen und theilweise noch gar nicht beseitigt sind. Zuerst nämlich ist es klar, dass eine Kerze, wie sie oben beschrieben ist, sich nicht mehr von selbst entzündet, wenn sie aus irgend einem Grunde, z. B. durch eine vorübergehende stärkere Stromschwankung, erloschen ist. Denn der Strom hat dann keinen Weg mehr von der einen Kohle zur anderen. Man hat versucht, durch einen Mechanismus, der von dem Strom selbst in Thätigkeit gesetzt wird, diesem Mangel abzuhelfen, indess bis jetzt ohne genügenden Erfolg. Auch ist, wenn man wieder eine Regulirung anbringt, die Einfachheit der Jablochkoffschen Kerze, welche ihr Hauptvorzug ist, beseitigt.

Ein zweiter Mangel der Kerze ist der, dass sie sehr rasch abbrennt. Nach 1 ½ Stunden ist bei einer Kerze von den oben angegebenen Dimensionen (welche sich als die zweckmässigsten erwiesen haben) die Kohle verbrannt. Dieser Mangel liess sich beseitigen, indem man auf ein Gestell mehrere Kerzen anbrachte und eine Vorrichtung hinzufügte, die, wenn eine Kerze abgebrannt war, von selbst eine andere in den Kreis einfügte.

Fig. 272.



Eine sehr sinnreiche Modifikation der Jablochkoff'schen Kerzen hat Jamin angegeben. Jamin lässt nämlich die feste isolirende Zwischenschicht zwischen den beiden Kohlenstäben fort, so dass sie nur Luft zwischen sich haben. In der Fig. 272 sind sechs Kohlenstäbe gezeichnet, von denen der erste, dritte, fünfte fest stehen, während der

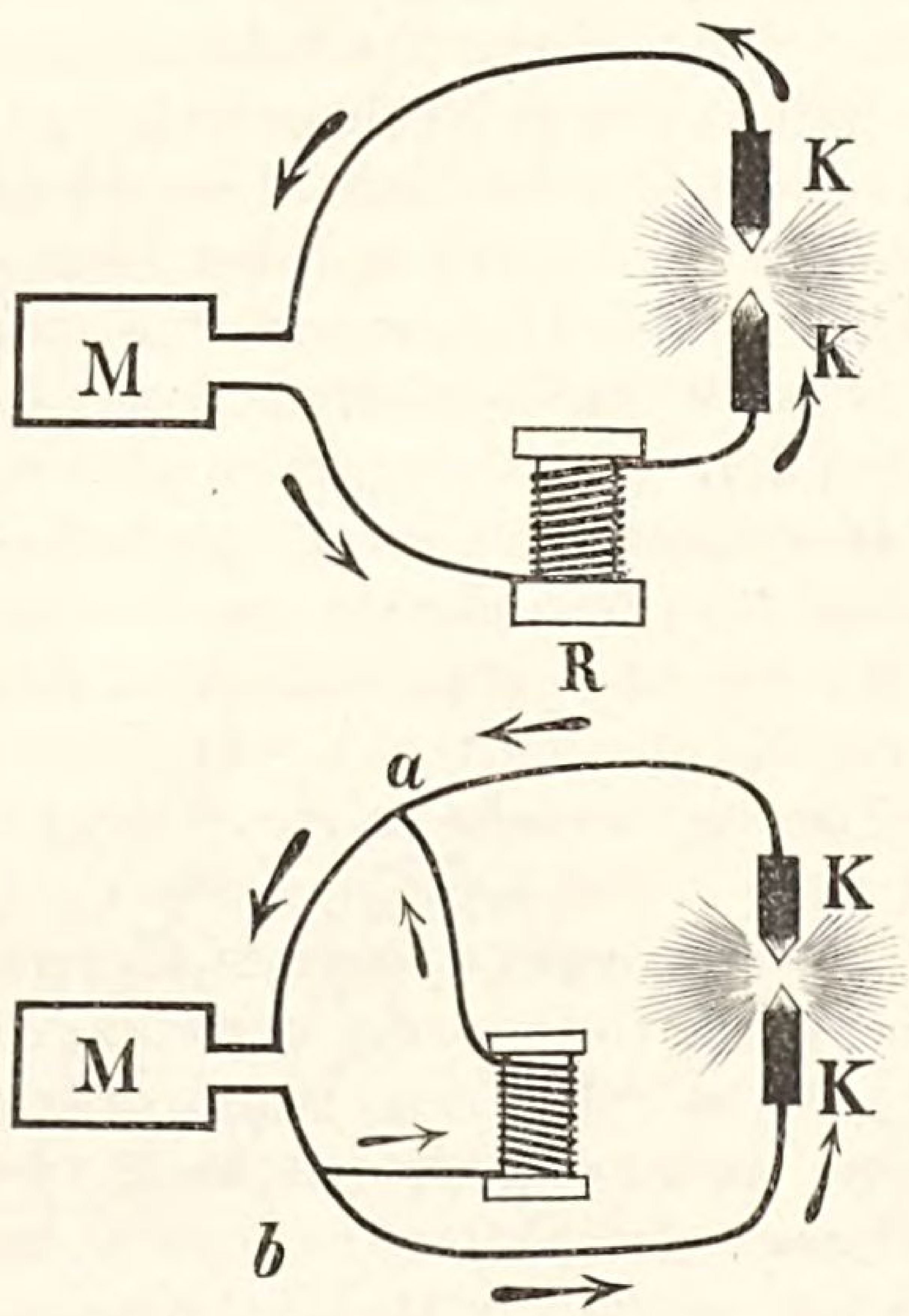
zweite, vierte, sechste an einem Hebel beweglich sind. In der Ruhelage berühren sich je zwei dieser Kohlen mit ihren Enden. Sobald aber ein Strom durch ein Paar von diesen Kohlen, z. B. k_1 und k_2, geleitet wird, durchfliesst derselbe die eine Kohle von oben nach unten, die andere von unten nach oben. Die Kohlen stossen sich also nach elektrodynamischen Gesetzen ab und der Lichtbogen bildet sich zwischen ihnen. Es kommt nun nur noch darauf an, zu bewirken, dass sich der Lichtbogen immer nur an der untersten Spitze der Kohlen bildet. Auch das hat Jamin durch elektrodynamische Anziehung bewirkt. Parallel mit den Kohlen ist ein Rahmen von Drähten w angebracht. Der Strom fliesst zuerst durch diese Drähte und diese üben nun in der auf S. 147 erwähnten Weise eine Anziehung auf den Lichtbogen aus, dergestalt dass sie ihn stets an die unterste Spitze der Kohlen ziehen; auf diese höchst sinnreiche Weise erzielt Jamin ein regelmässiges und wenig flackerndes Brennen und bewirkt zugleich, dass das lästige Auslöschen ohne Wiederanzünden der Kerzen ganz beseitigt ist. Wenn ein Paar von den Kerzen bis oben abgebrannt ist, so wird ein in der Nebenfigur sichtbarer Draht β abgeschmolzen und dadurch das zweite Paar Kohlen in den Strom eingeschaltet. Jede Kerze brennt zwei Stunden, so dass die ganze Lampe, welche in eine Glocke gehängt wird, sechs Stunden lang leuchtet.

Die elektrischen Kerzen waren es, welche zum ersten Mal eine sichere Theilung des elektrischen Lichtes gestatteten. Sie wurden in Paris zur Beleuchtung der Avenue de l'Opéra und des Hippodroms zuerst eingeführt und funktioniren dort zu grosser Zufriedenheit, obwohl ein im Vergleich zu neueren Lampenconstruktionen doch sehr erhebliches Flackern des Lichtes bei ihnen auffällt. Da die Kerzen gar keine Regulirung haben, so müssen sich alle Schwankungen des Stromes, die von dem unregelmässigen Gang der Maschine herrühren, bei ihr bemerkbar machen. Es sind auch noch fortwährend Bestrebungen darauf gerichtet, diese Kerzen zu verbessern, Bestrebungen, die gewiss aussichtsvoll erscheinen, denn von allen Construktionen für die Unterhaltung des elektrischen Bogenlichts ist die Jablochkoff'sche die allereinfachste und deshalb aussichtsvollste.

Eine solche Verbesserung der elektrischen Kerzen ist von Clerk getroffen. Die von ihm construirte Lampe „lampe soleil" scheint eine weitgehende Benutzung erfahren zu wollen, weil sie unter allen Lampen die billigste ist und trotz ihrer Einfachheit in Bezug auf die Lichtstärke wenig Schwankungen ausgesetzt ist. Bei ihr werden nämlich zwei Kohlenstäbe schräg in einen Marmorblock gestellt, so dass sie, wenn der Strom zwischen ihnen übergeht, den Marmor weissglühend machen. Das Licht fällt dann nach unten und ist ziemlich constant, da der weissglühende Marmor durch momentane Stromschwankungen seine Leuchtkraft nicht verändert. Die Kohlen sind leicht beweglich aufgehängt, so dass sie immer nachsinken, wenn sie weiter abbrennen, und ihre Spitzen also immer am Ende des Marmorblockes sich befinden. Das Licht dieser Lampe ist ziemlich stark röthlich, was im Vergleich zu dem hellen, etwas bläulichen Licht der anderen Lampen unangenehm auffällt.

Die immerhin noch sehr erheblichen Mängel der elektrischen Kerzen liessen nach anderen Mitteln suchen, um die Theilung des elektrischen Lichtes zu ermöglichen, und es gelang endlich unter Benutzung einer schon früher nebenbei angewendeten Methode im Jahre 1878 fast gleichzeitig Lontin, Mersanne und Fontaine, eine dahin zielende Lampenconstruktion zu erfinden, welche in gewisser Weise eine erhebliche Theilung des elektrischen Lichtes gestattet. Bei den bisher beschriebenen elektrischen Lampen war die Regulirungsvorrichtung immer direkt in den Hauptstromkreis eingeschaltet. Dadurch übernahm sie wohl die Regulirung des Kohlenabstandes, wenn dieser sich änderte, aber sie wurde auch beeinflusst durch alle anderen Vorgänge im Stromkreise ausserhalb der eigenen Lampe, und deswegen war sie für mehrere Lampen in demselben Stromkreis direkt schädlich.

Fig. 273 u. 274.



Das einfache Schema des Stromes, wie er in einer solchen Lampe für Einzellicht fliesst, ist in Fig. 273 gezeichnet.

Es geht darin der Strom von der Maschine M durch die Regulirungsvorrichtung R und durch die Kohlen K K zur Maschine zurück. Jede Veränderung im Widerstand des Lichtbogens und jede sonstige Stromschwankung setzt die Regulirungsvorrichtung in gleichmässige Thätigkeit.

Wenn man dagegen, und dies war das neu angewendete Princip, den Strom, wenn er in eine Lampe eintritt, theilt, so dass die Regulirungsvorrichtung nicht im Hauptstromkreis liegt, sondern im Nebenschluss, dann ergeben sich nach den Gesetzen der Stromvertheilung weit günstigere Verhältnisse. Das Schema für eine solche Stromvertheilung ist in Fig. 274 angegeben.

Hier geht auch wieder der Strom von der Maschine M aus bis zu den Punkten a und b; dort aber theilt er sich und geht einerseits durch die Kohlen K K, andererseits durch die Regulirungsvorrichtung R. Die Stromstärken in den beiden Zweigen verhalten sich umgekehrt wie ihre Widerstände, wie wir aus S. 61 wissen. Je grösser daher der Widerstand in dem Lichtbogen wird, desto grösser wird die Stromstärke in dem Regulirungszweig, desto kräftiger kann die Regulirung wirken und die Kohlen an einander bringen. Wie gross dagegen der Strom in Wirklichkeit ist, der in die beiden Zweige eintritt, darauf kommt es viel weniger an. Die Regulirung kommt hauptsächlich in Thätigkeit durch die Vorgänge in der eigenen Lampe. Stromschwankungen von aussen ändern die Stromstärken in beiden Zweigen in gleichem Verhältniss, beeinflussen daher die Regulirung in viel geringerem Masse

als bei der früheren Schaltung. Allerdings ist das nur bei ganz geringen äusseren Stromschwankungen der Fall, wie man ja sofort durch die Betrachtung des Grenzfalles sehen kann, dass wenn der Strom ausserhalb sehr schwach wird, auch die Regulirung sehr schwach werden muss. Die Praxis hat es aber hauptsächlich mit kleinen Stromschwankungen zu thun.

Die Regulirungsvorrichtung kann auch hierbei natürlich entweder aus einem Elektromagneten oder aus einem Solenoid bestehen. In dem einen Falle wird ein Anker angezogen, in dem anderen ein Eisenstab hineingezogen. Der Anker löst dann den Regulirungsmechanismus aus, der wie früher aus einem oder mehreren Rädern und Federn bestehen kann. Es lässt sich dieser Nebenschluss leicht bei allen Lampen anbringen, die für Einzellicht bestimmt sind. Der Elektromagnet, resp. das Solenoid muss mit sehr vielen Windungen eines dünnen Drahtes umwickelt sein, damit nur ein ganz geringer Theil des Stromes bei normaler Lichtbogenlänge durch die Regulirungsvorrichtung hindurchgehe, während der Hauptstrom zur Lichterzeugung benutzt wird.

Ein Uebelstand lässt sich bei dieser Construktion, die bei einigen Lampen von Fontaine, Gramme, Weston-Möhring u. A. eingeführt ist, leicht einsehen. Der Einfluss äusserer Stromschwankungen, herrührend z. B. von den Widerstandsänderungen in einer zweiten Lampe, ist zwar geschwächt, aber nicht ganz vermieden; vielmehr wirken äussere Stromschwankungen auch hier störend auf die Regulirung, wenn auch in geringerem Grade. Wird z. B. der Strom, der durch die Lampe fliesst, aus irgend welchen äusseren Ursachen zu stark, so werden auch die beiden Zweigströme stark, das Licht brennt also stärker als normal, aber auch der Regulirungsmagnet ist stärker als im normalen Zustand. Je stärker der Magnet ist, desto mehr zieht er die Kohlen an einander (da ja Verstärkung des Stromes im Regulirungszweig die Kohlen an einander bringen muss). Es wird also dann das zu starke Licht noch stärker, und umgekehrt ist es bei zu schwachem Licht. Es werden also äussere Stromschwankungen durch die Regulirung nicht ausgeglichen. Auch hierbei schädigen die Stromschwankungen im äusseren Stromkreis noch jede einzelne Lampe, wenn auch in viel geringerem Masse als bei den Lampen, welche die Regulirung nicht im Nebenschluss haben.

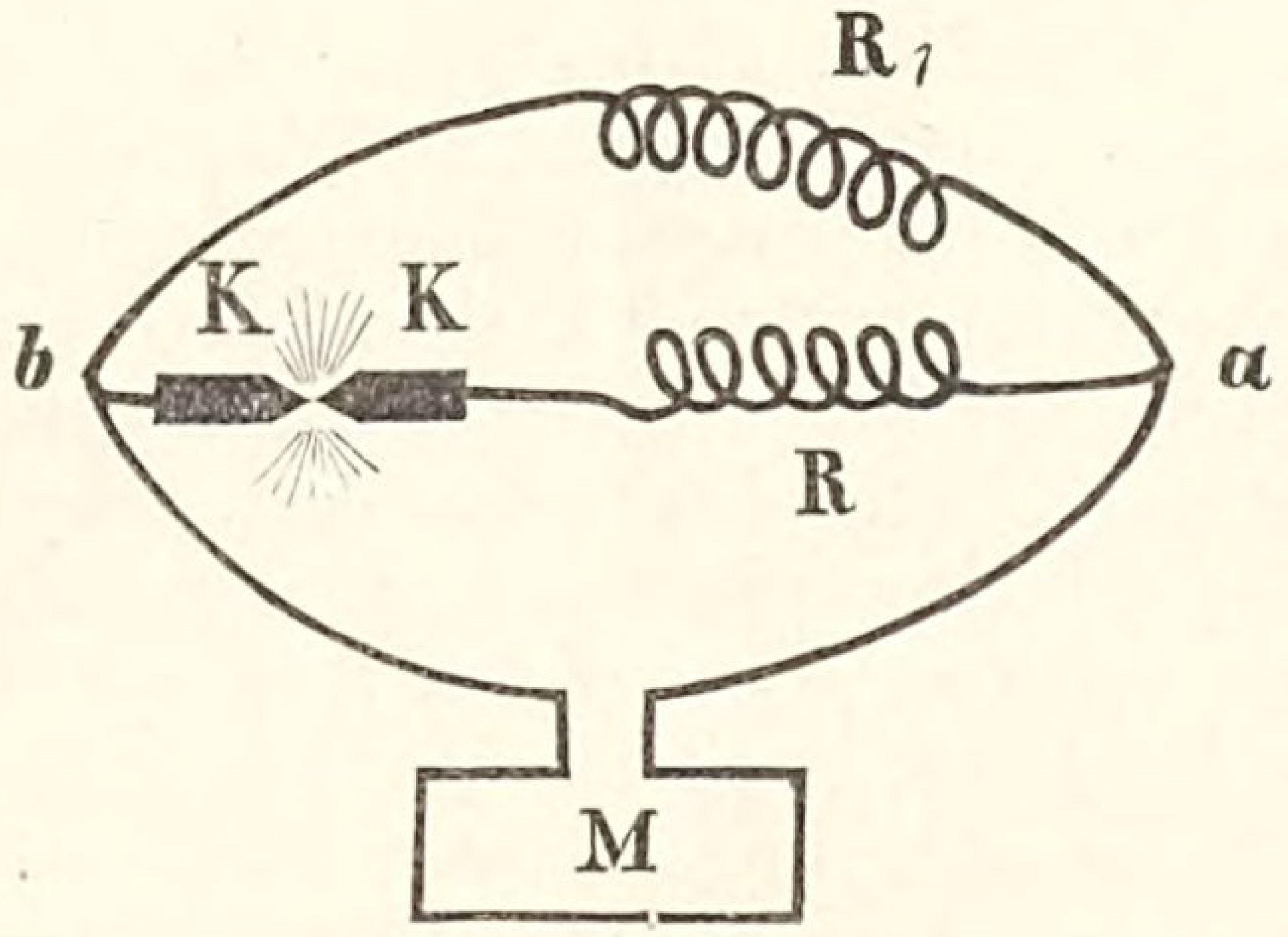
Eine vollkommene Unabhängigkeit aber vieler Lampen in einem Stromkreis von einander wird erreicht durch eine Einrichtung, die zuerst von Hefner-Alteneck angewendet wurde und die durch neuere Constructionen im Einzelnen verändert und theilweise verbessert ist, die aber zum ersten Mal in der That ein vorzügliches Brennen mehrerer Lampen in einem Stromkreis gestattete. Dies ist die sogenannte Differentiallampe, welche von Siemens & Halske bei ihren vielen Beleuchtungsanlagen eingeführt ist.

Auch bei der Differentiallampe wird der Strom, der von der Maschine in die Lampe kommt, verzweigt. In dem einen Zweig befinden sich die Kohlen, in dem anderen eine Regulirungsvorrichtung. Die wesentliche Veränderung ist aber die, dass auch in dem ersten Zweig, in welchem sich die Kohlen befinden, eine Regulirungsvorrich-

tung angebracht ist und zwar so, dass sie der anderen entgegenwirkt. Durch das Schema in Fig. 275 wird die Wirkung der Differentiallampe deutlich werden.

Von der Maschine M geht der Strom nach den beiden Verzweigungspunkten a und b und durchfliesst den Zweig a R_1 b mit der Regulirungsvorrichtung R_1 und den Zweig a R K K b mit der Regulirungsvorrichtung R und den Kohlen K K zu gleicher Zeit. Die Stromstärken in den beiden Zweigen verhalten sich umgekehrt wie ihre Widerstände. Die Regulirungen sind nun so eingerichtet, dass eine Verstärkung des Stromes in R_1 die Kohlen näher an einander bringt, die Verstärkung des Stromes in R die Kohlen aus einander zieht. Wird also der Lichtbogen zu gross, also sein Widerstand zu gross, so wird in R_1 die Stromstärke grösser und dadurch werden die Kohlen näher an einander gebracht. Wird dagegen der Lichtbogen zu klein, also die Stromstärke in R grösser, so werden die Kohlen aus einander gezogen, so dass der Lichtbogen wieder die normale Länge bekommt.

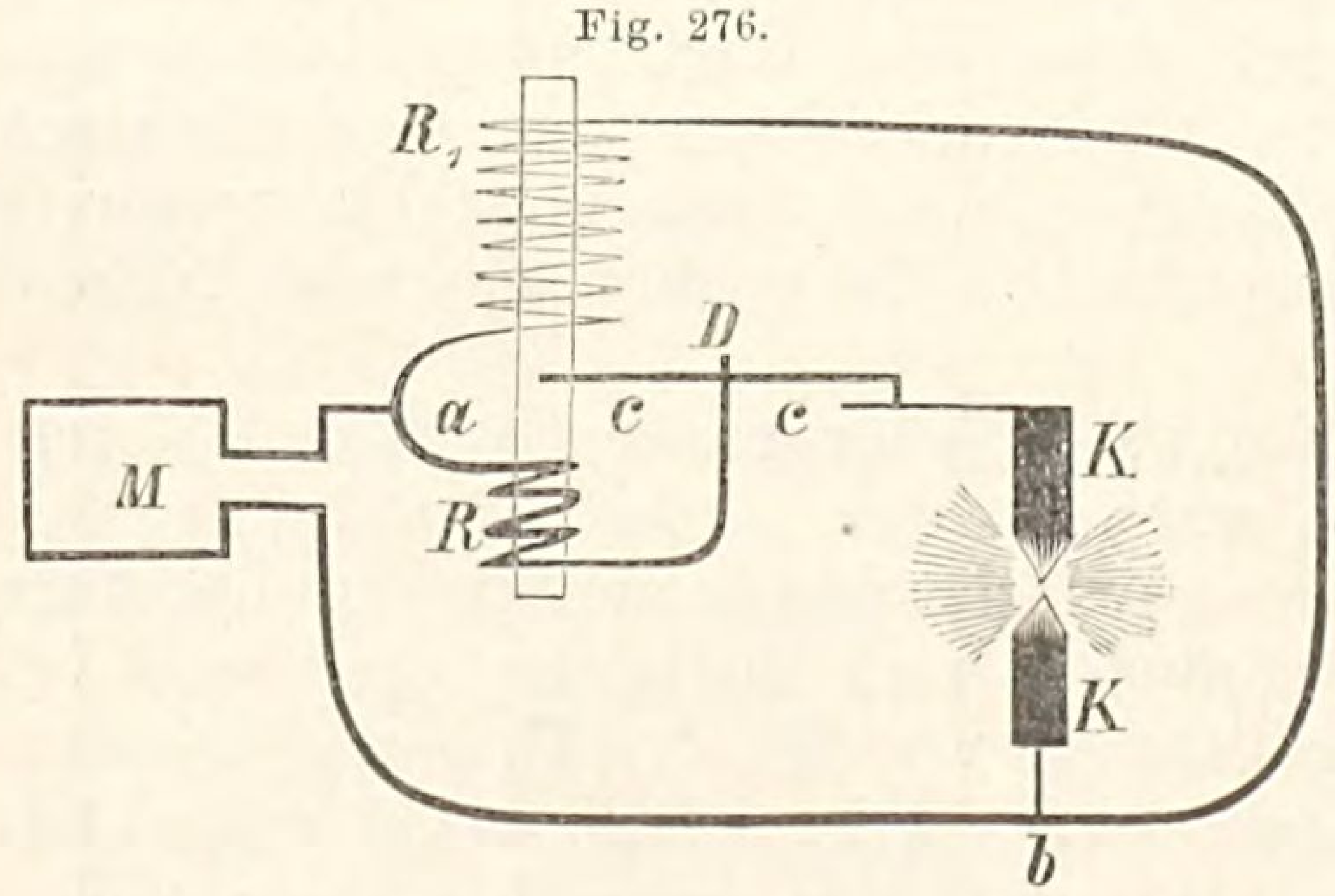
Fig. 275.



Die Stromstärke im äusseren Stromkreis wird bei dieser Regulirung durch eine Lampe nicht beeinflusst. Denn die Kohlen stellen sich immer auf normalen Widerstand ein. Durch die Vorgänge in einer Lampe werden also die anderen nicht in Mitleidenschaft gezogen. Der äussere Stromkreis ist unabhängig von den Vorgängen in der Lampe.

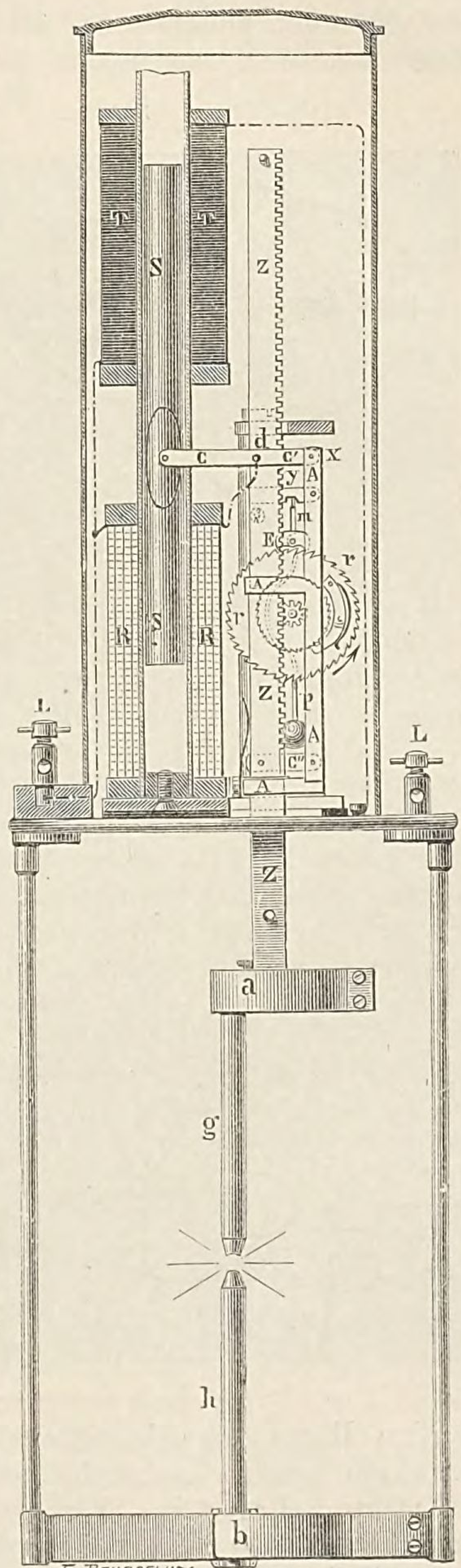
Die Art und Weise nun, wie Hefner-Alteneck die beiden Regulirungen anwendet, ist am einfachsten aus Fig. 276 zu ersehen. Die Regulirungsvorrichtung besteht aus zwei Solenoiden R und R_1, in welche ein Eisencylinder eintaucht. Das obere Solenoid R_1 besteht aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes, das untere aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes. Die untere Kohle steht fest, während die obere durch einen Hebelarm c c, der sich um D drehen kann, mit dem Eisencylinder befestigt ist. Wird der Strom im Solenoid R_1 stärker, so wird der Eisenstab in dieses hineingezogen und dadurch die obere Kohle gesenkt. Wird der Strom in R stärker, so wird der Eisencylinder in dieses hineingezogen und die Kohle K hebt sich. Auf diese Weise ist die Differentialwirkung der beiden Spulen sehr einfach hergestellt.

Fig. 276.



Während so das elektrische Princip der Hefner'schen Differentiallampe ziemlich einfach ist, ist die mechanische Construktion etwas complicirter. Es handelt sich darum, die Bewegung der oberen Kohle recht gleichmässig und ruhig zu machen. Zu dem Ende ist in der Lampe eine Zahnstange, ein Rad und ein Pendel angebracht. In Fig. 277 ist ein Durchschnitt dieser Lampe gezeichnet. Die beiden Solenoide sind darin mit R und T bezeichnet, S ist der Eisencylinder, der in ihnen, in einer Röhre gleitend, schwebt. An den Eisencylinder ist nun durch den Hebel C C′ der obere Kohlenhalter nicht direkt angebracht, wie in der schematischen Fig. 276 angenommen ist, sondern zuerst ein Rahmen A A A, welcher nicht hin und her schwingen kann wie der Hebel C C′, sondern in Folge einer Führung nur nach oben und unten sich bewegen kann. Der Rahmen trägt ein Zahnrad r und ein kleines Echappement E, welches das Pendel P in Bewegung setzen kann. An das Rad r greift endlich die Zahnstange Z an, welche die obere Kohle g trägt. Wenn der Rahmen A A in einer bestimmten oberen Lage ist, so wird das Pendel und dadurch das Echappement und das Rad arretirt, indem das Pendelende m in ein Loch y sich einklemmt. Dadurch ist die Zahnstange mit A A verbunden und muss der Bewegung des Rahmens folgen. Wenn aber der Rahmen A A sich senkt, so wird m von y frei, das Pendel und das Rad sind nicht gehemmt und die Zahnstange Z mit ihrer Kohle kann langsam abwärts gleiten.

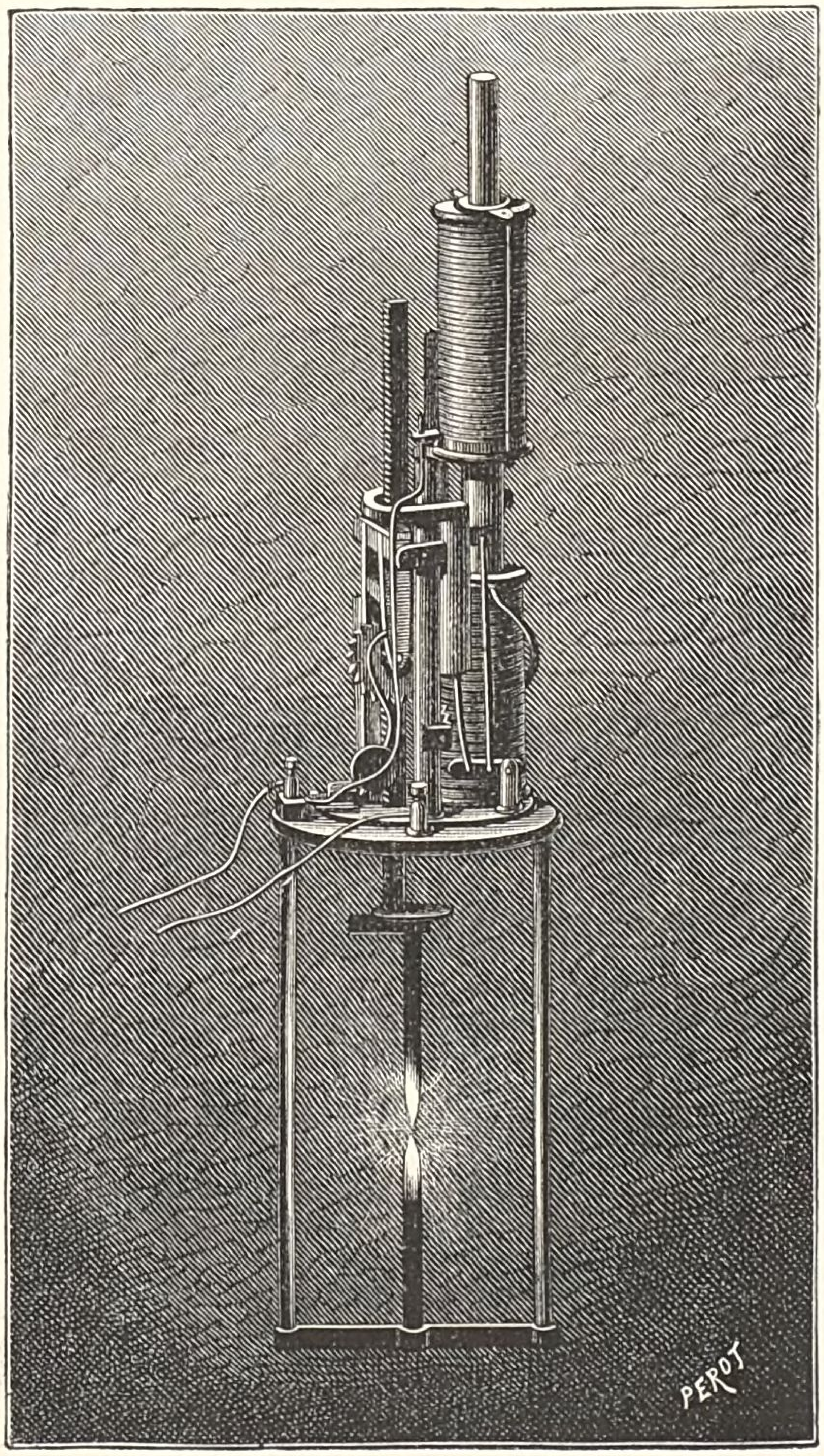
Fig. 277.



Die Vorgänge in der Hefnerschen Lampe sind nun der Reihe nach folgende: So lange die Kohlen getrennt sind, fliesst der Strom allein durch die Spule T und der Cylinder S wird in diese hineingezogen. Dadurch senkt sich der Rahmen A A, die Pendelstange m tritt aus dem Loch y heraus und die Zahnstange Z fällt langsam frei herunter, indem sie

bei ihrer Bewegung das Rad r und durch das Echappement das Pendel in Bewegung setzt. Sobald aber die Kohlen sich berühren, geht ein starker Strom durch die Spirale R, der Eisencylinder S wird herab gezogen und dadurch der Rahmen AA mit dem Rad r gehoben, so lange bis die Pendelstange m in das Loch eingreift. Dann muss die Zahnstange Z der Bewegung des Rahmens nach oben folgen, die obere Kohle entfernt sich also von der unteren. Wird dann der Strom durch das Abbrennen der Kohlen geschwächt, so senkt sich der Rahmen wieder und so bewegt sich der obere Kohlenhalter bald nach unten, bald nach oben, je nachdem es der Lichtbogen erfordert.

Fig. 278.



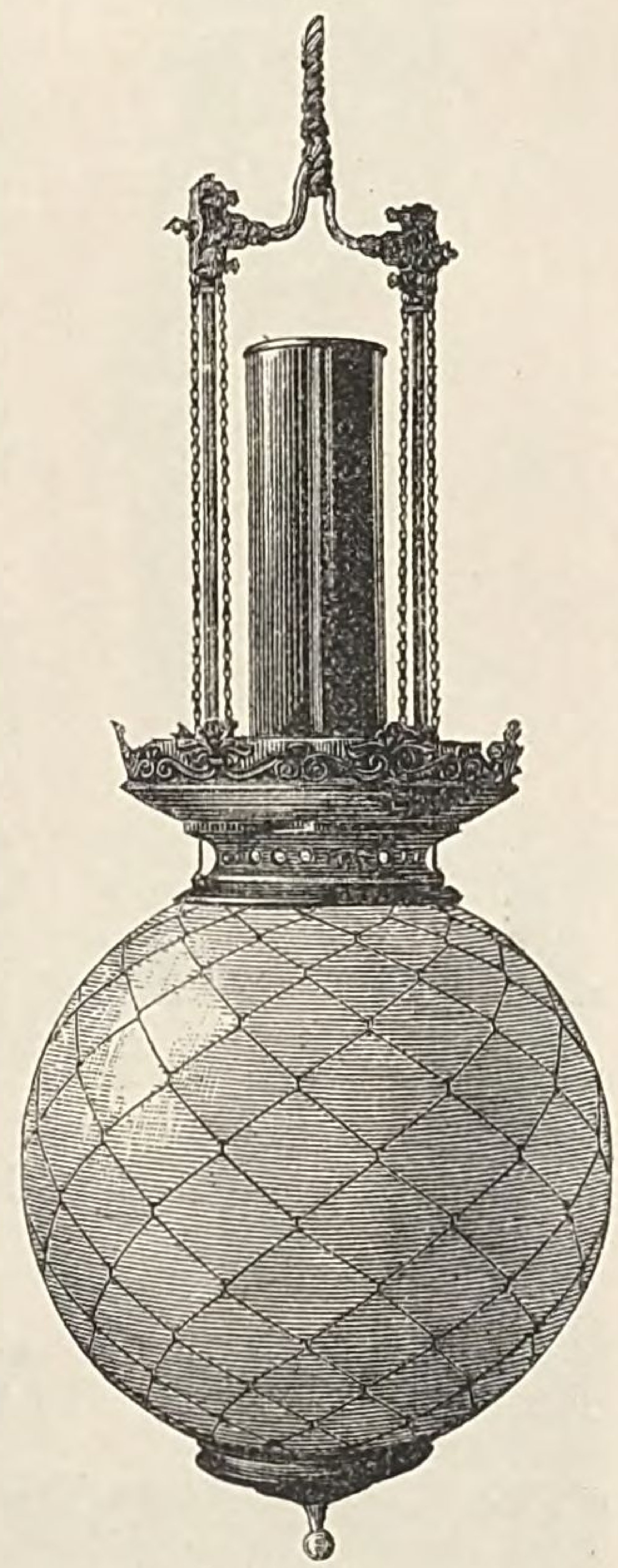
Die Ansicht einer vollständigen Hefnerschen Differentiallampe zeigt Fig. 278. Für die praktische Verwendung wird die ganze Regulirungsvorrichtung in ein Metallgehäuse eingeschlossen, wie es Fig. 279 zeigt. Die Kohlen selbst sind von einer Milchglasglocke umgeben, die mit Drahtgeflecht versehen ist, um widerstandsfähiger zu werden.

Das Verhältniss der Umwindungen in den beiden Solenoiden hängt ab von dem normalen Widerstand des Flammenbogens. Es muss also vorher die nöthige Bogenlänge bestimmt und darnach der Widerstand und die Umwindungszahl in den beiden Spulen eingerichtet sein. Man kann die richtige Lage des Eisenstabes auch dadurch hervorbringen, dass man die eine oder die andere Spule nach oben oder unten verschiebt, wodurch ihre Anziehung auf den Eisenstab vergrössert oder verringert wird. Zu dem Zwecke ist bei den Siemens'schen Lampen das obere Solenoid verstellbar.

So kann man also mit Hülfe des Differentialprincips eine Reihe von Lampen hinter einander in den Stromkreis einschalten, ohne dass sie ihre Regulirung gegenseitig schädigen.

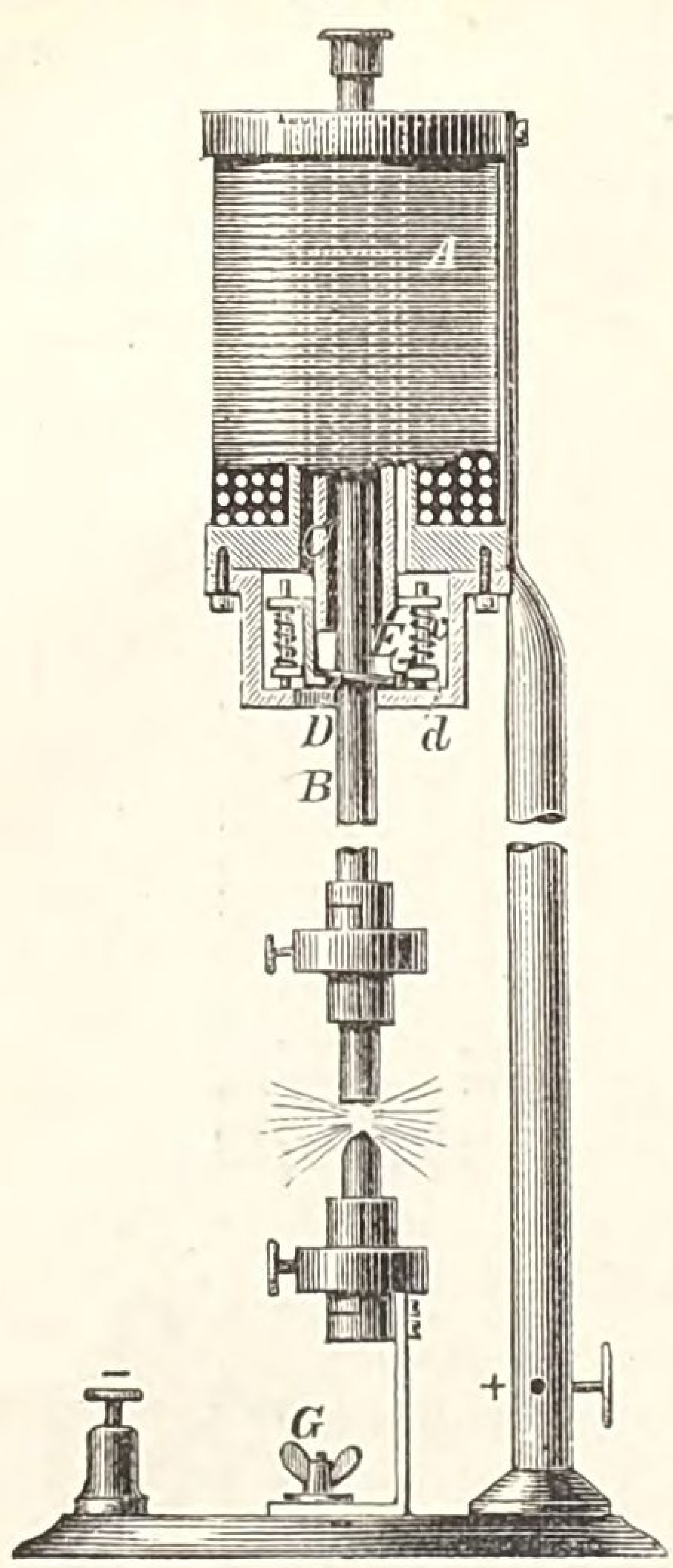
Die mechanische Regulirung der Hefner'schen Lampe ist eine ausserordentlich feine und delikate. Andere Lampen, bei denen nach dem Vorgang von Siemens auch das Differentialprincip angewendet wird, unterscheiden sich im Uebrigen nur durch die mechanische Regulirung von der eben beschriebenen Hefner'schen Lampe.

Fig. 279.



So hat z. B. Brush bei seinen Lampen, deren mechanische Regulirung ja sehr einfach ist und auf S. 295 schon beschrieben wurde, auch das Differentialprincip angebracht und zwar in etwas compendiöserer Weise. In Fig. 280 a. f. S. ist die Brush-Lampe noch einmal abgebildet. Das Solenoid, in welchem die eiserne Röhre schwebt, die den oberen Kohlenhalter (aus Eisen) in sich enthält, besteht nicht mehr wie früher aus einer einzigen Windungsreihe, sondern ist aus zwei von einander getrennten Umwindungen gebildet. Die innere Umwindung besteht aus dicken Drähten und durch sie fliesst der Hauptstrom, der auch durch die Kohlen selbst geht. Die äussere Umwindung dagegen, welche aus sehr vielen Windungen eines sehr dünnen Drahtes besteht, wird nur von einem Zweigstrom durchflossen und zwar in entgegengesetzter Richtung wie die inneren Umwindungen. Die Eisenröhre wird durch den Strom in den inneren dicken Umwindungen in das Solenoid hineingezogen. Die äusseren dünnen Umwindungen schwächen diese Wirkung mehr oder minder, je nachdem der Strom in ihnen stark oder schwach ist, und so kommt auch hier nur die Differenz der Wirkungen der beiden Spiralen in Wirksamkeit. Die genauere Einsicht in die Regulirung ist durch die Beschreibung auf S. 295 ermöglicht. Bei neueren Lampen bringt Brush stets zwei Kohlenpaare an, so dass, wenn das eine Paar abgebrannt ist, sofort das zweite Paar sich von selbst entzündet, die Bedienung der Lampen also vereinfacht wird. Die Regulirung für zwei Kohlenpaare ist ganz entsprechend der für ein Paar und ihr Mechanismus ist in Fig. 281 abgebildet. Die beiden Eisenröhren F_1 und F_2, welche durch die elektrische Wirkung der beiden Spiralen E_1 und E_2 bewegt werden, sind durch ein Querstück J mit einander verbunden. Dieses trägt einen Hebel G und durch ihn den Rahmen D, der ebenso wie bei der einfachen Lampe, wenn er gehoben wird, die Friktionsringe C_1 und C_2

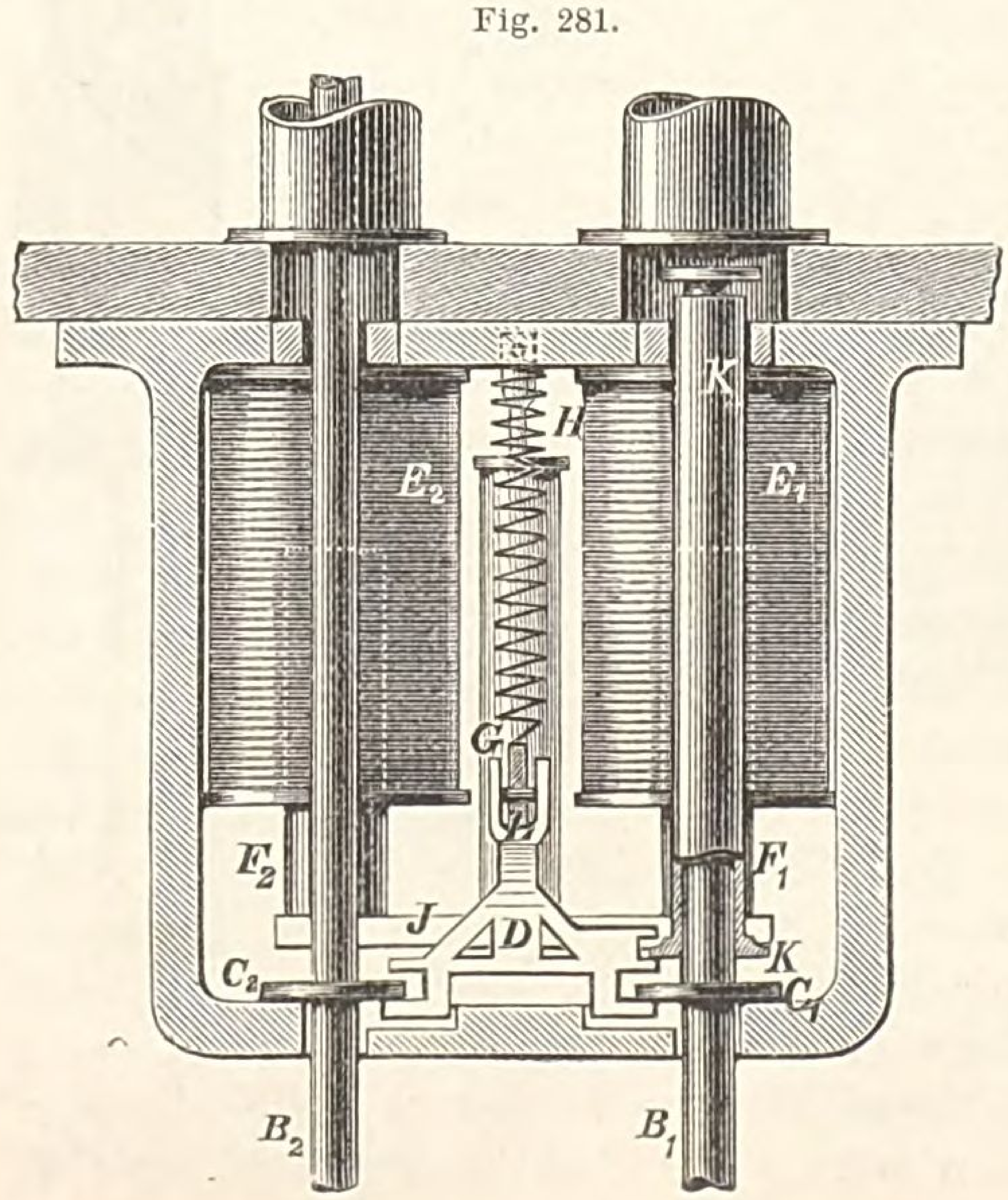
Fig. 280.



einseitig hebt. Der Rahmen ist nun durch eine kleine Verstellung so eingerichtet, dass er beim Durchgang des Stromes C_2 früher hebt als C_1; in Folge dessen kann sich also der Lichtbogen zuerst nur bei dem Kohlenhalter B_1 bilden. Erst wenn dieses Kohlenpaar abgebrannt ist, funktionirt die Lampe in gewöhnlicher Art an dem zweiten Kohlenhalter B_2. Brush, dessen Maschinen und Lampen wohl die weiteste Verbreitung haben, hat die Theilung des Lichts bis jetzt am weitesten getrieben, er speist bis 40 Lampen mit einer einzigen Maschine, die deswegen allerdings auch sehr hohe elektromotorische Kraft haben muss, wie dies auf S. 248 schon ausgeführt ist.

Die Siemens'sche Differentialregulirung wird bei den neueren Lampen ziemlich allgemein angewendet. Wir wollen daher nur noch die Krizik'sche Lampe beschreiben, weil sie eine zwar geringe, aber zweckmässige Vereinfachung des Mechanismus enthält. Die Siemens'sche Lampe beruht auf der Anziehungskraft, welche die beiden Solenoide auf den Eisencylinder äussern. Die Anziehung zwischen einem Solenoid und einem cylindrischen Eisenkern ist aber eine verschieden starke, je nachdem der Kern weiter oder weniger weit in das Solenoid eintaucht. Die Kraft ist am grössten, wenn der Stab so weit in die Spirale hineingezogen ist, dass sein Ende mit der Mitte des Solenoids zusammenfällt. Sie ist geringer, wenn der Stab die Mitte noch nicht erreicht hat oder über sie hinaus ist. Danach ist auch bei den beiden Solenoidspulen der Hefner'schen Lampe die Anziehung derselben auf den Eisenkern eine verschiedene, je nach der Lage des Kerns in derselben; folglich muss auch die Stärke der Regulirung sich ändern, je nachdem der Stab ziemlich weit in die eine der beiden Spulen eintaucht oder wenig. Es wird also der Stab bald kräftig bewegt, bald schwach, eine gleichmässige Regulirung wird erst durch die mecha-

Fig. 281.



nische Construktion, durch die Zahnstange, Rad und Pendel bei der Siemens'schen Lampe, hervorgebracht. Dagegen erreicht Krizik ohne complicirten Mechanismus eine gleichmässige Regulirung dadurch, dass er dem Eisenkern nicht eine cylindrische Form giebt, sondern eine nach beiden Seiten spitz zulaufende. Dadurch wird erreicht, dass die Bewegung des Kerns immer eine gleichmässige bleibt. Denn an den Stellen, an denen die Kraft der Solenoide auf den Eisenkern am stärksten sein würde, befinden sich jetzt geringere Eisenmassen, so dass das Produkt aus der magnetisirenden Wirkung der Spirale und der Menge des Magnetismus im Kern immer dasselbe bleibt und gerade von diesem Produkt hängt die Wirkung des Solenoids auf den Kern ab. In den extremen Lagen wirkt daher bei der Krizik'schen Anordnung das Solenoid nur auf die spitzen Enden, während, wenn der Stab in der Mitte einer Spule sich befindet, die Wirkung auf die grösste Breite ausgeübt wird. Dadurch ist erreicht, dass die Anziehungskraft fast in der ganzen Länge des Stabes dieselbe bleibt. In Fig. 282 ist ein solcher Eisenstab in drei verschiedenen Lagen innerhalb der beiden Spulen gezeichnet. In jeder Lage des Stabes ist die Kraft der Spulen auf ihn dieselbe.

Fig. 282.

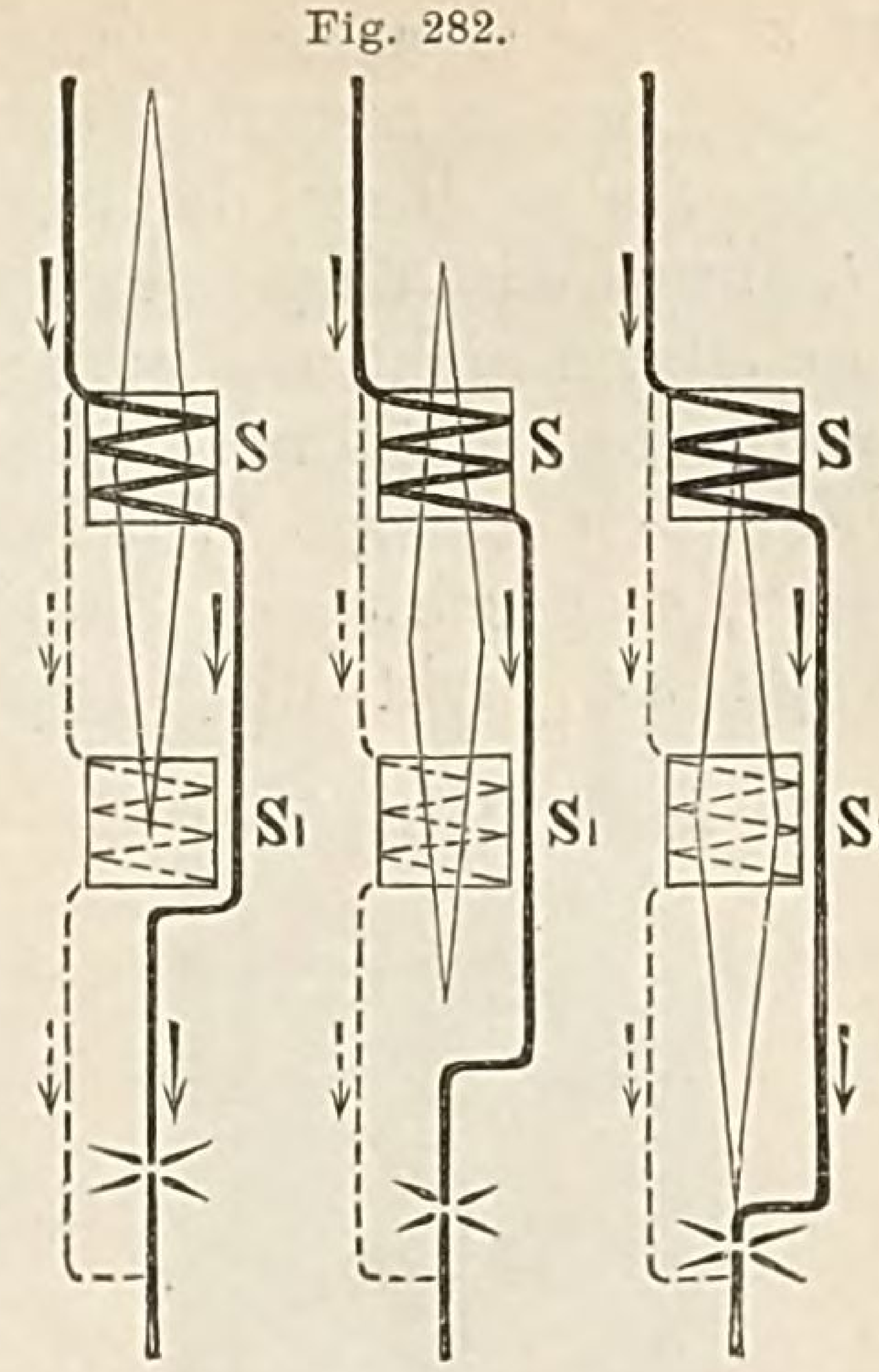
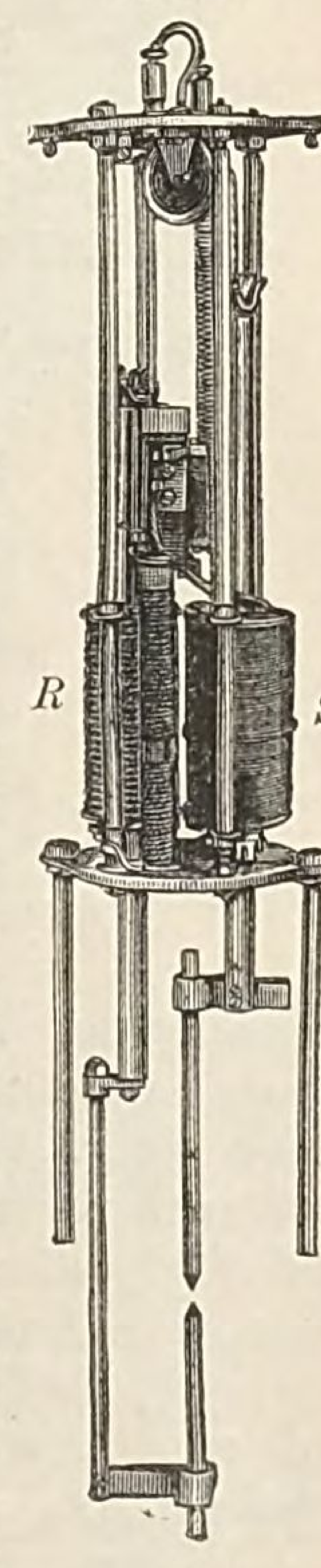


Fig. 283.

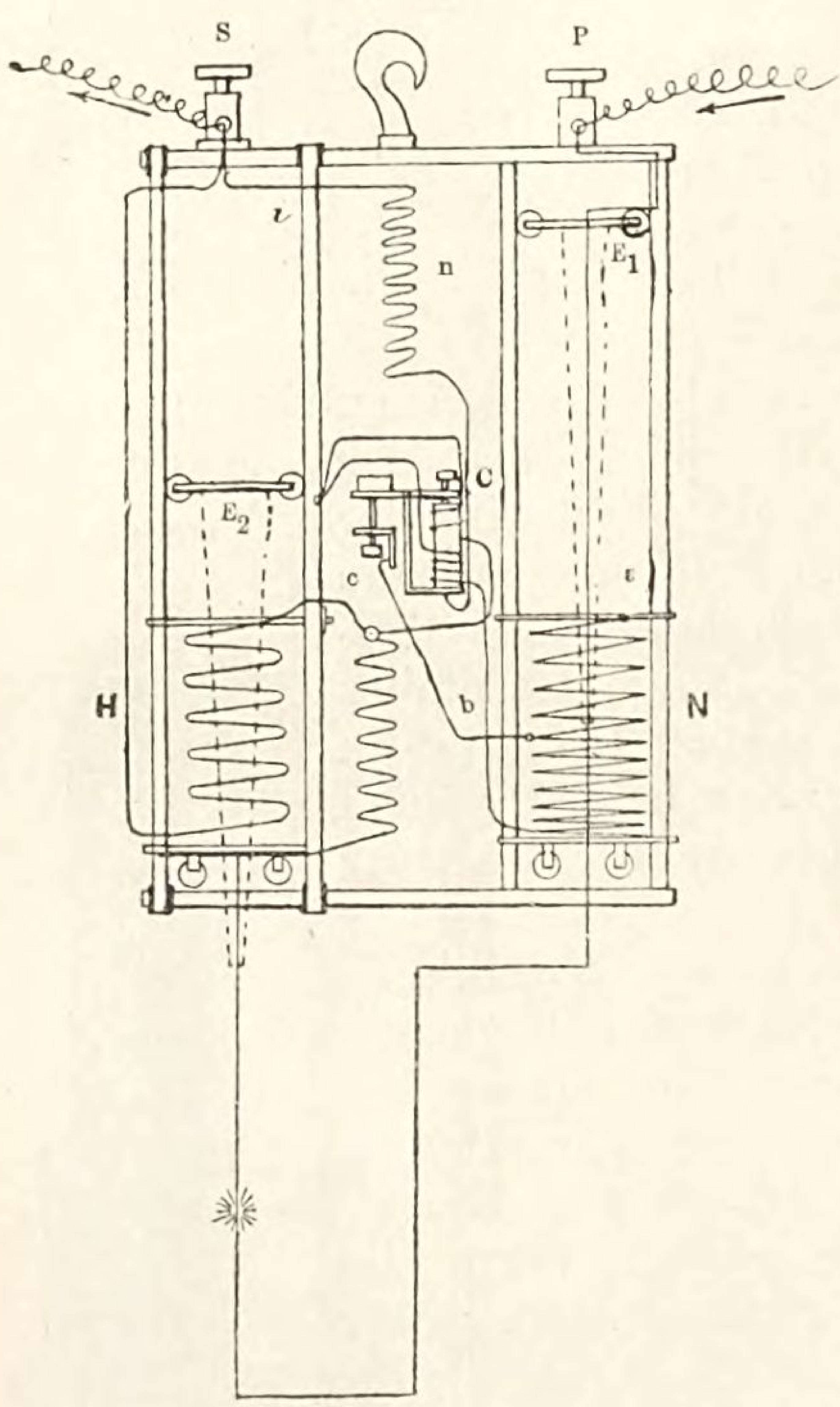


In der ursprünglichen Form war die Krizik'sche Lampe thatsächlich mit zwei über einander liegenden Differentialspulen versehen, in welchen der doppelt konische Eisenkern schwebte, ganz wie bei der Hefner-schen Lampe. Bei den neueren Lampen von Krizik, von denen Fig. 283 eine Abbildung giebt, stehen die beiden Differentialspulen neben einander und in jeder befindet sich nur ein einfach konischer Eisenkern, dessen breites Ende nach oben gerichtet ist. Rechts in der Figur ist die Spule S aus dünnem Draht. Ihr Eisenkern ist mit dem oberen Kohlenhalter direkt verbunden. Die Spule R links besteht aus dickem Draht und ihr Eisenkern trägt den unteren Kohlenhalter. Bei zu geringem Abstand der Kohlen ist der Strom in R stark und dadurch wird die untere Kohle gesenkt, der Kohlenabstand also vergrössert. Bei zu grossem Kohlenabstand ist der Strom in S stark, die obere Kohle wird gesenkt, der Kohlenabstand also verringert.

Bei der Lampe von Krizik sowohl, wie bei der von Siemens, Brush und anderen ist noch eine Vorrichtung angebracht, um eine Lampe vollkommen aus dem Stromkreis auszuschalten, wenn sie aus irgend einem Grunde ganz erlischt. Es kann

ja z. B. vorkommen, dass eine Kohle in einer Lampe abbricht. Dann würde der gesammte Strom durch den anderen Zweig der Zweigleitung gehen, also durch das Solenoid mit den vielen dünnen Drahtwindungen. Dadurch entstehen zwei Nachtheile. Erstens halten die dünnen Drähte den Strom nicht aus, sie erhitzen sich stark, ihre Umspinnung verbrennt, wenn sie nicht etwa selbst schmelzen. Zweitens aber wird der Strom durch den grossen Widerstand, den er in dem langen dünnen Draht erfährt, so geschwächt, dass die übrigen Lampen weit schwächer leuchten, wenn sie nicht überhaupt erlöschen. Deswegen wird dem Strom in allen diesen Lampen für den Fall des Erlöschens noch ein anderer Weg geboten, als durch die dünnen Spirale. Bei der Lampe von Brush z. B. ebenso wie bei der von Krizik fliesst dieser Zweigstrom noch um ein Stück weichen Eisens herum. Dieses wird zwar magnetisch, aber da der Zweigstrom sehr schwach ist, so wird es nicht magnetisch genug, um einen Anker anzuziehen. Erst wenn die Lampe erloschen ist und der ganze Strom durch diesen Zweig geht, wird der Elektromagnet stark genug, den Anker anzuziehen, und der Anker bringt nun einen dicken Draht in Contakt mit dem Hauptstromkreis, so dass der Strom nun hauptsächlich durch diesen dicken Draht geht. Dieser ist zugleich auch noch um den Elektromagneten gewunden, damit dieser stets stark genug bleibt, den Anker angezogen zu erhalten. Eine Einsicht in den Stromlauf bei der Krizik'schen Lampe giebt demnach Fig. 284. Darin sind E_1 und E_2 die beiden konischen Eisenkerne, H ist die Hauptspule mit dickem Draht, N die Nebenspule mit dünnem Draht. An den dünnen Draht schliessen sich aber noch einige Windungen dicken Drahtes bei b an. C ist der Contaktmagnet, der mit dickem und dünnem Draht umwunden ist. Bei n ist ein Widerstand aus Neusilber angebracht, durch den der Strom fliesst, wenn die Lampe erloschen ist.

Fig. 284.



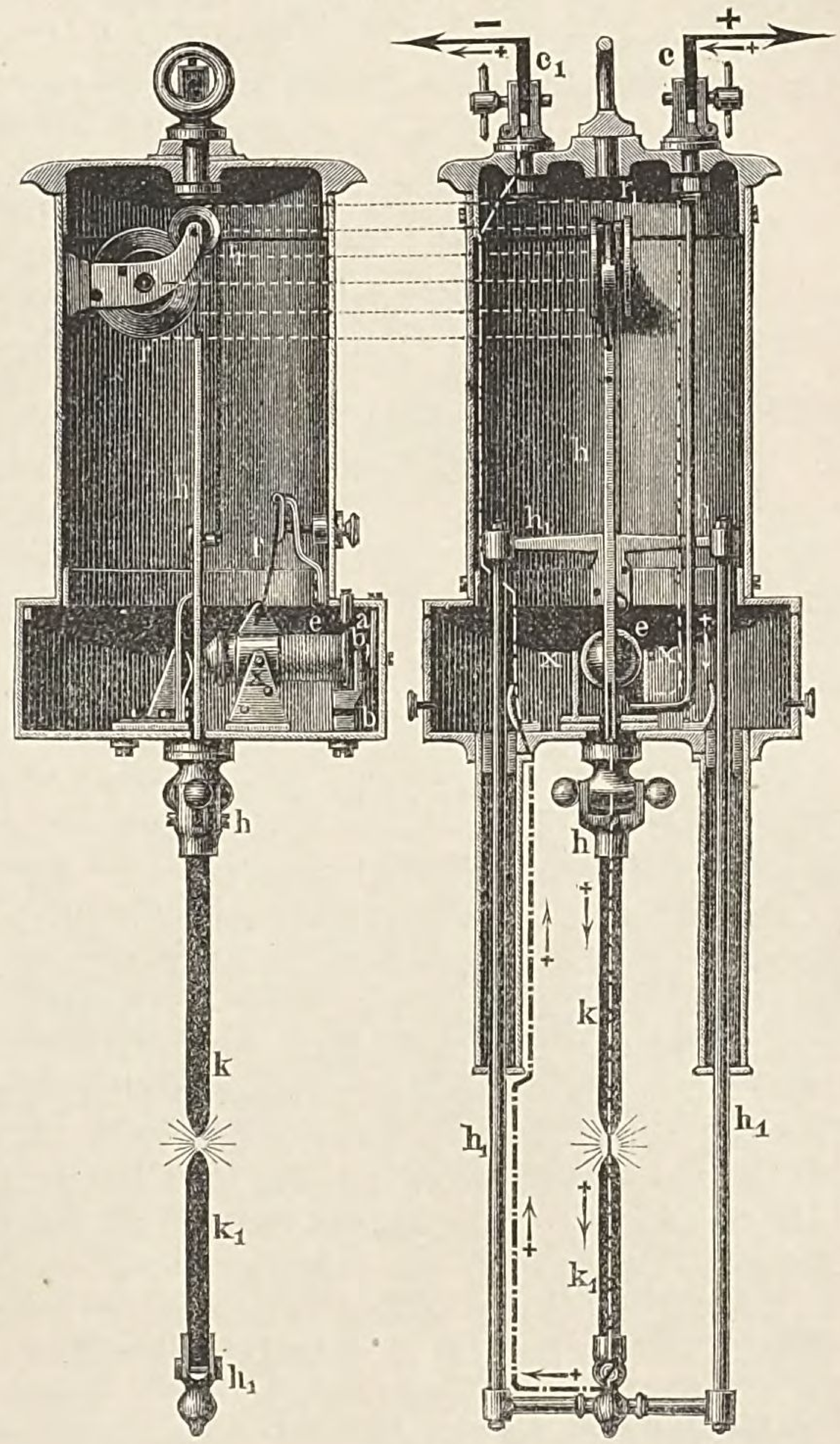
Im Anfang geht der Strom von P über a, b, c, n nach S, also gar nicht durch die Kohlen. Der Eisenkern E_1 wird in die Nebenspule gezogen und die Kohlen kommen zur Berührung.

Dann verzweigt sich der Strom. Der Hauptstrom geht von P durch das Lampengehäuse und die Kohlen, dann durch die dicken Windungen des Contaktmagnets C und durch die Hauptspule H. Dadurch

wird E_2 gesenkt, also die Kohlen von einander entfernt. Zugleich wird der Contaktmagnet stark genug, um seinen Anker anzuziehen. Dadurch ist der Contakt b c unterbrochen und der Zweigstrom fliesst durch die dicken und dünnen Windungen der Nebenspule hinter einander.

Ganz ähnlich sind die selbstthätigen Contaktvorrichtungen bei den übrigen Differentiallampen. Durch diesen Contakt wird eine grosse Sicherheit einer solchen Beleuchtungsanlage gegen unzeitiges Erlöschen erzielt.

Fig. 285.

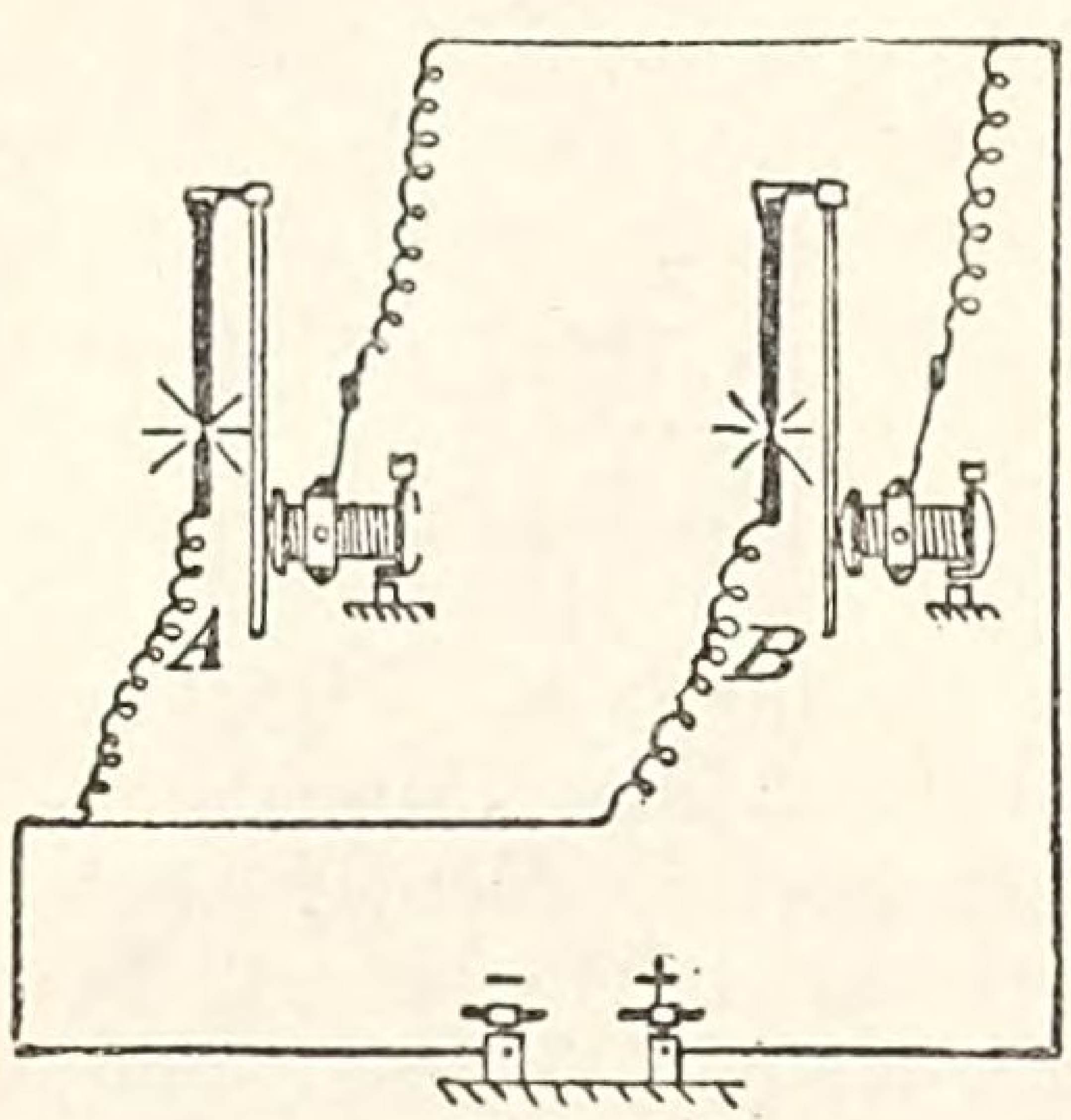


Während die bisher angeführten Lampenconstruktionen eine Theilung des Lichtes dadurch ermöglichten, dass eine Reihe von Lampen hinter einander von einer Maschine gespeist werden konnten, ist Gülcher mit einer Construktion und Anordnung von Lampen aufgetreten, welche dasselbe Ziel durch Nebeneinanderschalten erreicht. Die Lampe von Gülcher, welche in Fig. 285 im Durchschnitt und in der Seitenansicht gezeichnet ist, benutzt zur Regulirung ebenfalls die magnetische Klemmung, wie sie oben bei der Siemens'schen Nebenlampe beschrieben wurde. Ihre Wirkung beruht darauf, dass der obere Kohlenhalter h, welcher aus Eisen ist, und der von selbst fällt, durch einen Elektromagneten geklemmt, also in seiner Bewegung gehemmt wird, wenn der Strom eine gewisse Stärke hat. Zu dem Zwecke befindet sich in der Lampe der Elektromagnet e mit abgerundeten Polen, der sich um eine durch seine Mitte gehende Axe x nach oben und unten etwas drehen kann. Bei schwachem Strom drückt eine Feder f den Elektromagneten gegen den Anschlagstift a und der obere Kohlenhalter kann dadurch frei sinken. Bei starkem Strom wird der Elektromagnet gegen

den unten sichtbaren Eisenklotz b gezogen und hält nun an seiner Polfläche den eisernen Kohlenhalter fest. Der Elektromagnet ist mit einigen Windungen dicken Drahtes umgeben und wird von dem Strom der Maschine direkt durchflossen. Mit dem oberen Kohlenhalter ist der untere durch eine Schnur verbunden, welche über eine Rolle geht, so dass beide Kohlen sich zugleich bewegen.

Die Lampen werden nun bei Gülcher alle neben einander geschaltet. Dadurch wird der äussere Widerstand der Maschine ein sehr kleiner und wir wissen ja aus S. 254, dass die Gülcher-Maschine für geringen äusseren Widerstand eingerichtet ist. Bei solcher Nebenschaltung wird nun jede Lampe durch die andere regulirt. Nehmen wir zwei Lampen an, wie in dem Schema in Fig. 286, so haben bei normalem Brennen der Lampen A und B die beiden Parallelzweige gleichen Widerstand, also gleiche Stromstärke. Kommen nun in der einen von beiden, z. B. A, die Kohlen zu weit aus einander, so wird hier der Widerstand grösser, in Folge dessen der Strom schwächer, und die Lampe regulirt sich so, dass der Kohlenhalter fällt. Zugleich wird der Strom bei B stärker und die Lampenregulirung sucht dort die Kohlen aus einander zu bringen. Sowie aber der Abstand der Kohlen in B grösser werden würde, als der in A, so würde der Strom in A wieder stärker werden, und die Regulirung zöge dort die Kohlen aus einander. Es muss sich also bald ein Gleichgewichtszustand herstellen, bei welchem der Kohlenabstand in A ebenso gross wie in B ist, der Strom also in beiden Zweigen gleich ist. Eine jede von beiden Lampen regulirt die andere. Ganz dasselbe findet bei drei und mehr Lampen statt, so dass auf diese Weise die Theilung des Lichtes durch Nebeneinanderschalten erreicht ist. Die Gülcher-Lampen zeichnen sich durch ein sehr beständiges, weisses Licht aus. Selbstverständlich erfordert die Parallelschaltung viel mehr Leitungsmaterial als die Hintereinanderschaltung, so dass, wenn die Lampen in grosser Entfernung von einander und von der Maschine aufgestellt werden sollten, die Anlagekosten sehr hohe sind. Bei kleinen Anlagen, für Fabriken z. B., macht dieser Materialverbrauch weniger aus. Die Gülcher'schen Lampen sind auch ursprünglich hauptsächlich für derartige Räume construirt, erfreuen sich aber einer stetig fortschreitenden Verbreitung.

Fig. 286.



Seit Erfindung der Differentiallampe hat die elektrische Beleuchtung ungemein an Ausdehnung gewonnen. Es ist erst durch sie, abgesehen von den Jablochkoff'schen Kerzen, möglich geworden, das elektrische Licht sicher zu theilen, d. h. mehrere Lampen hinter einander in ein und denselben Stromkreis einzuschalten. Es können diese Lichter stark oder schwach sein, aber natürlich muss die elektromotorische Kraft der Maschine in demselben Masse erhöht

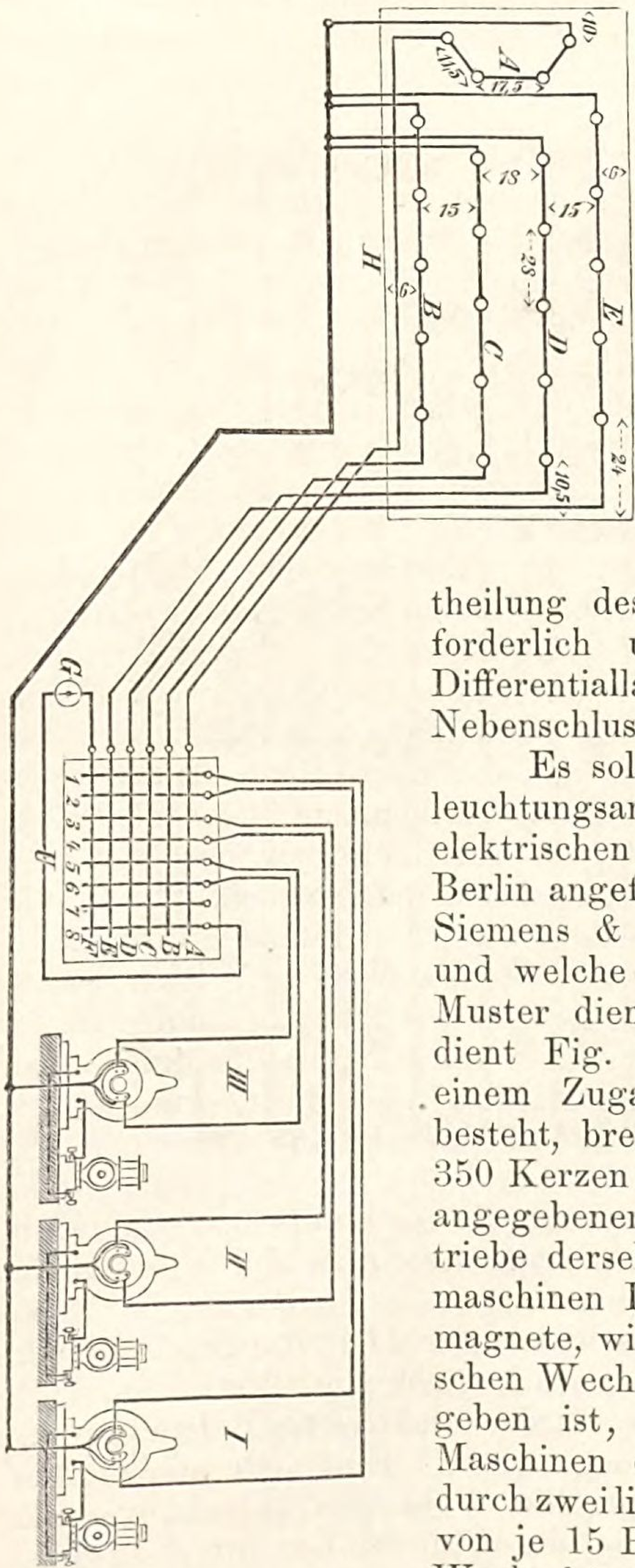
werden, als man die Anzahl der Lampen vergrössert. Wenn man, statt von einer Maschine ein einzelnes, sehr starkes Licht zu erzeugen, dafür eine Reihe schwächerer Lichter erzeugen lässt, so muss man allerdings verhältnissmässig mehr Arbeit für jede Lichteinheit aufwenden. Bei gleichem Arbeitsaufwand der Maschine giebt eine Einzellampe ein viel stärkeres Licht als 5 oder 10 Lampen zusammen, die von dieser Maschine hinter einander gespeist werden. Dieser grössere Arbeits- und Kostenaufwand wird aber aufgewogen durch die überaus grosse Anwendbarkeit des getheilten Lichtes. Man kann eben von einer Maschine aus eine grosse Anzahl Lichter in ziemlich weiten Entfernungen, sogar mehrere Kilometer entfernt, speisen lassen. Je grösser nämlich die Anzahl der Lampen ist, die in demselben Stromkreis brennen, desto grösser ist ihr Gesammtwiderstand, desto grösser kann und muss daher auch der innere Widerstand der Maschine gemacht werden. Daher wirkt auch die Vergrösserung des Widerstandes der äusseren Leitung, welche von den längeren Leitungsdrähten nach den entfernt aufgestellten Lampen resultirt, nicht schädlich, während bei Einzellicht eine lange Leitung einen sehr erheblichen Procentsatz der aufgewendeten Arbeit nutzlos absorbirt.

Ein sehr erheblicher Vortheil der Theilung des elektrischen Lichtes ist aber insbesondere der, dass dadurch die Kosten der Zuleitung des Stromes ganz erheblich verringert werden. Hefner-Alteneck stellt darüber eine Berechnung an, deren Inhalt folgender ist: Wenn im Stromkreis einer Maschine 10 Differentiallampen brennen, und der gesammte Widerstand der Maschine und der Lampen zusammen etwa 10 Einheiten beträgt, dann würde die Vermehrung des Gesammtwiderstandes um 1 Einheit 10 % Arbeitskraft mehr von der Maschine verlangen, wenn die Stromstärke die gleiche bleiben soll. Denn die Stromstärke nimmt durch die Erhöhung des Widerstandes ab und es muss mehr Arbeitskraft aufgewendet werden, um sie auf gleiche Höhe zu bringen. Pro Einheit des Leitungswiderstandes muss man also 10 % Arbeitsaufwand rechnen. Wenn nun aber von der Maschine aus 10 getrennte Stromzweige abgehen, so dass in jedem blos eine einzige Lampe brennt, dann ist der Widerstand jeder Lampe mit dem ihr zugehörigen Drahtwiderstand der Maschine eine Einheit. Damit nun der gleiche Procentsatz (10 %) durch die Leitung verloren gehe, darf die Leitung nur den Widerstand von 0,1 Einheit haben. Es müsste also der Querschnitt der Leitung jedes einzelnen Stromzweiges 10mal grösser gemacht werden als früher, und da jetzt 10 Leitungen vorhanden sind, so braucht man 100mal mehr Drahtgewicht als im Falle der einfachen Theilung des Lichtes. Das aufzuwendende Material an Leitungsdrähten wächst also im quadratischen Verhältniss mit der Anzahl der Lampen, wenn man, statt das Licht zu theilen, für jede Lampe eine eigene Stromabzweigung macht. Dies ist der Grund, warum für grössere Anlagen, insbesondere für Strassenbeleuchtung, erst die Theilung des Lichtes die Möglichkeit einer praktischen Anlage gewährt.

Während man elektrisches Einzellicht bis zu einer Stärke von 30,000 bis 70,000 Normalkerzen und noch mehr erzeugt und ange-

wendet hat, kann man durch Theilung des Lichts die Lichtstärke jeder einzelnen Lampe bis auf 300 Normalkerzen herabmindern. Als eine mittlere Zahl kann man annehmen, dass man bei einer mittelgrossen Dynamomaschine mit etwa 750 Touren in der Minute pro Pferdekraft ein Licht von etwa 1000 Normalkerzen Stärke erhalten kann. Die sehr starken Einzellichter sind selbstverständlich nur für besondere Zwecke anwendbar. Auf Leuchtthürmen insbesondere werden sie seit langer Zeit angewendet; grosse Schiffe benutzen dieselbe auch schon theilweise und werden wohl immer mehr mit ihnen versehen werden. Für praktische Bedürfnisse, zur Beleuchtung von Strassen, Plätzen, grossen Räumlichkeiten, wie Bahnhöfen, grossen Fabriken, Gärten u. s. w., ist jedoch eine Vertheilung des Lichtes auf mehrere Punkte erforderlich und diese wird eben durch die Differentiallampen und durch die Lampen mit Nebenschluss ermöglicht.

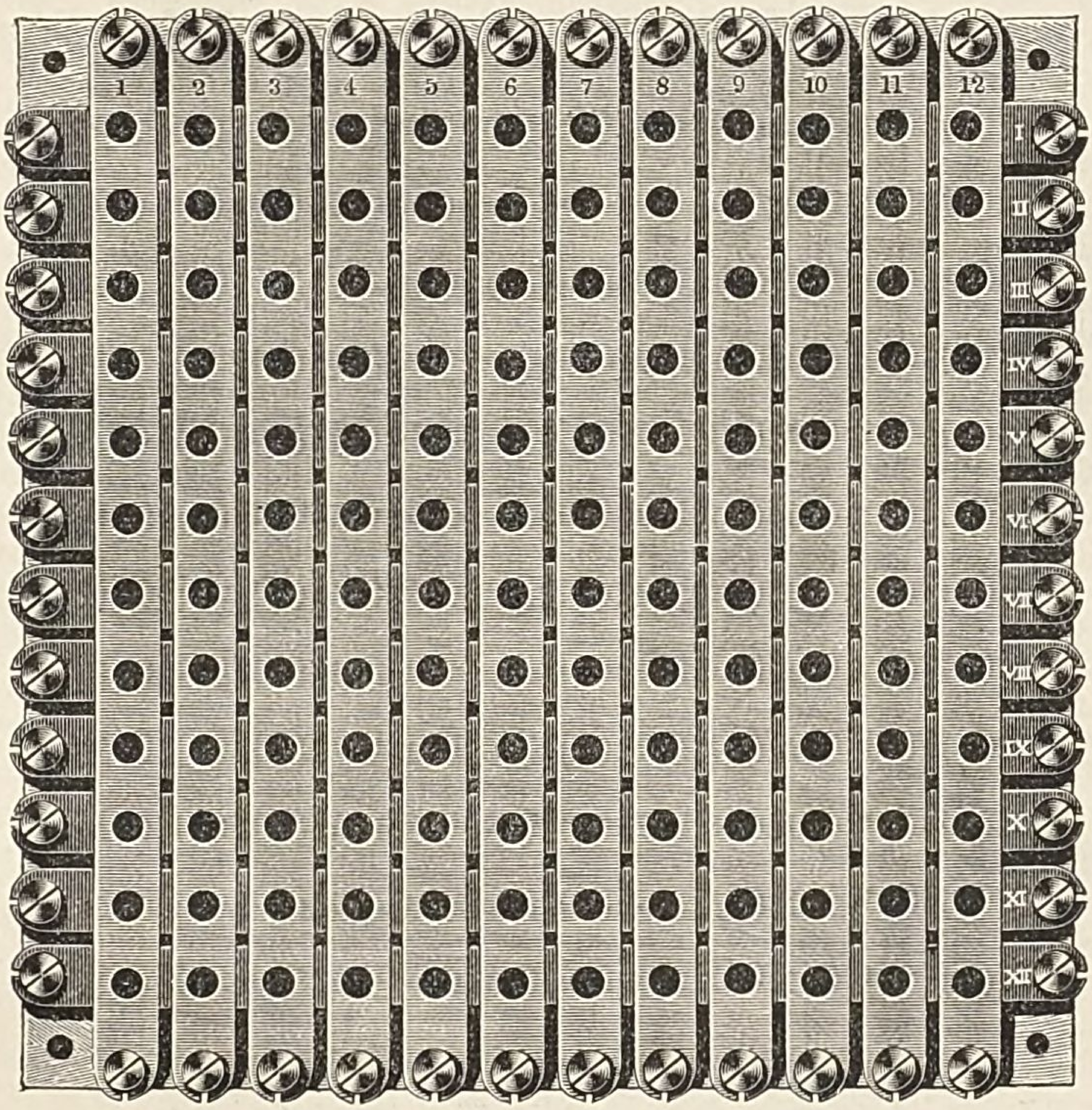
Fig. 287.



Es soll als Beispiel einer praktischen Beleuchtungsanlage hier nur die Installation des elektrischen Lichtes im Anhalter Bahnhof in Berlin angeführt werden, welche von der Firma Siemens & Halske in Berlin ausgeführt ist, und welche allen ähnlichen Einrichtungen zum Muster dienen kann. Zur Veranschaulichung dient Fig. 287. In dem Bahnhof, der aus einem Zugangsperron A und einer Halle H besteht, brennen 24 Differentiallampen von je 350 Kerzen Stärke, welche in der in der Figur angegebenen Weise vertheilt sind. Zum Betriebe derselben sind drei grosse Wechselstrommaschinen I, II, III aufgestellt, deren Elektromagnete, wie bei der Beschreibung der Siemens-schen Wechselstrommaschine auf S. 224 angegeben ist, durch kleine dynamo-elektrische Maschinen erregt werden. Dieselben werden durch zwei liegende Hochdruck-Dampfmaschinen von je 15 Pferdekräften getrieben. Von jeder Wechselstrommaschine gehen zwei getrennte Stromkreise aus, in deren jeden 5 Differentiallampen eingeschaltet sind. Im Ganzen könnten also 30 Lampen benutzt werden. Damit man nun beliebig jede Reihe von 5 Lampen mit jeder Maschine in Verbindung setzen kann, sind alle Lampenleitungen und alle Maschinen-

leitungen zu einem Generalumschalter U geführt, der aus zwei von einander isolirten Reihen von Metallschienen besteht, 6 horizontal gezeichneten A bis F, und 8 vertikal gezeichneten 1 bis 8. Diese Schienen sind von einander getrennt und isolirt; in jede Kreuzungsstelle kann aber ein Stöpsel eingeschaltet werden, so dass der Strom dadurch geschlossen ist. Schaltet man z. B. einen Stöpsel an der Kreuzungsstelle E und 4 ein, so geht der Strom von dem links ge-

Fig. 288.



zeichneten Zweig der Maschine II durch die 5 Lampen E hindurch zu diesem Zweig zurück. Die Rückleitung geschieht durch die Erde hindurch und ist für alle Lampen dieselbe.

Die Ansicht eines solchen Umschalters für 24 Leitungen, welcher auch im Telegraphenverkehr benutzt wird, giebt Fig. 288.

In dieser und ähnlicher Weise werden elektrische Beleuchtungsanlagen im Grossen und Kleinen eingerichtet. Eine jede solche Anlage erfordert naturgemäss eine specielle Wahl von Maschinen und Lampen, eine sorgfältige Berechnung der Dimensionen der Leitungsdrähte, eine richtige Vertheilung der Lampen, kurz eine Menge von Detailfragen, welche für jeden Fall zu beantworten, Aufgabe der elektrotechnisch geschulten Ingenieure ist.

Die grossen Vorzüge, die das elektrische Licht vor dem Gaslicht hat, brauchen hier nur kurz erwähnt zu werden. Vor allen Dingen ist

die Gefahrlosigkeit des elektrischen Lichts hervorzuheben, welche zwar keine ganz absolute, aber jedenfalls eine viel grössere als die des Gaslichts ist. Dann ist die grosse Leichtigkeit zu erwähnen, mit welcher man Helligkeiten durch das elektrische Licht erzeugen kann, die man auf andere Weise gar nicht erreichen kann. Dazu kommt die Bequemlichkeit, mit der man jede Lampe sofort durch Oeffnen des Stromes verlöschen und wieder durch Schliessen entzünden kann. Der Glanz und die Weisse des elektrischen Lichtes werden von vielen Seiten als ein Nachtheil desselben bezeichnet. Doch lässt sich nicht recht einsehen, warum die gelbe Farbe des Gaslichtes einen besonderen Vorzug vor der weissen, etwas bläulichen Färbung des elektrischen Lichtes haben soll, wenn nicht gerade unsere Gewöhnung für die gelbe Farbe spricht. Aehnelt ja das elektrische Licht in der Farbe am meisten dem Tageslicht, dessen Schädlichkeit für die Augen wohl nicht leicht zu erweisen sein dürfte. Endlich besitzt das elektrische Licht den grossen Vorzug namentlich für grosse Räume, in denen sich viele Menschen aufhalten, dass es die Luft absolut nicht verdirbt, während das Gaslicht bekanntlich die Luft mit schädlichen, ja geradezu giftigen Gasen erfüllt und ausserdem nicht nur Licht, sondern auch in hohem Grade Wärme erzeugt, was oft für grosse Räumlichkeiten als ein Nachtheil bezeichnet werden muss.

4. Kapitel.

Das elektrische Glühlicht.

Die vielen Anstrengungen der Construkteure, das elektrische Bogenlicht zu theilen, sind durch die Erfindung der Differentiallampe zu einem erfolgreichen vorläufigen Abschluss gelangt. Es ist möglich, wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben, das Licht des Davy'schen Flammenbogens auf mehrere Lampen, die in einem Stromkreise liegen, zu vertheilen, um so an mehreren Stellen von einer Maschine aus Licht zu erzeugen. Je mehr Lampen man in einen Stromkreis hinter einander einschaltet, desto grösser muss unter sonst gleichen Umständen die elektromotorische Kraft der Maschine, also die Spannung der Elektricität sein. Elektricität von sehr hohem Potential ist aber erstens nicht leicht zu isoliren und zweitens physiologisch für den Menschen gefährlich. Damit ist die eine Grenze für die Theilbarkeit des elektrischen Bogenlichts gegeben. Wollte man aber das Bogenlicht noch viel weiter theilen, wollte man die Lichtstärke der einzelnen Lampen nur so gross machen, dass sie auch in Häusern und Zimmern zu benutzen seien, so müsste man die Länge des Lichtbogens ausserordentlich klein machen, so klein, dass eine sichere Regulirung des Lichts nicht mehr möglich ist. Das ist die zweite Grenze für die Theilung des Lichts und in der That haben die praktischen Construkteure sich wohl kaum je der Hoffnung hingegeben, das Bogenlicht durch Vertheilung so schwach zu machen, dass es auch für die Beleuchtung von Zimmern benutzbar wäre.

Hier war es nothwendig, ein anderes Princip technisch anzuwenden und dieses angewendet und mit Energie durchgeführt zu haben, ist das ungeschmälerte Verdienst von Edison. Wenn die Idee des elektrischen Glühlichtes auch schon von Anderen vor Edison erfasst und theilweise ausgeführt war, so waren doch diese Versuche ohne praktischen Erfolg im Grossen geblieben. Erst die grossen Bemühungen Edison's hatten den durchschlagenden und bleibenden Erfolg, auf elektrischem Wege ein Licht zu schaffen, welches die Theilung fast bis ins Unendliche gestattet, welches beliebig kleine Lichtstärken an beliebig vielen Punkten hervorzubringen erlaubt.

Das elektrische Glühlicht beruht auf wesentlich anderer physikalischer Grundlage als das elektrische Bogenlicht. Während bei

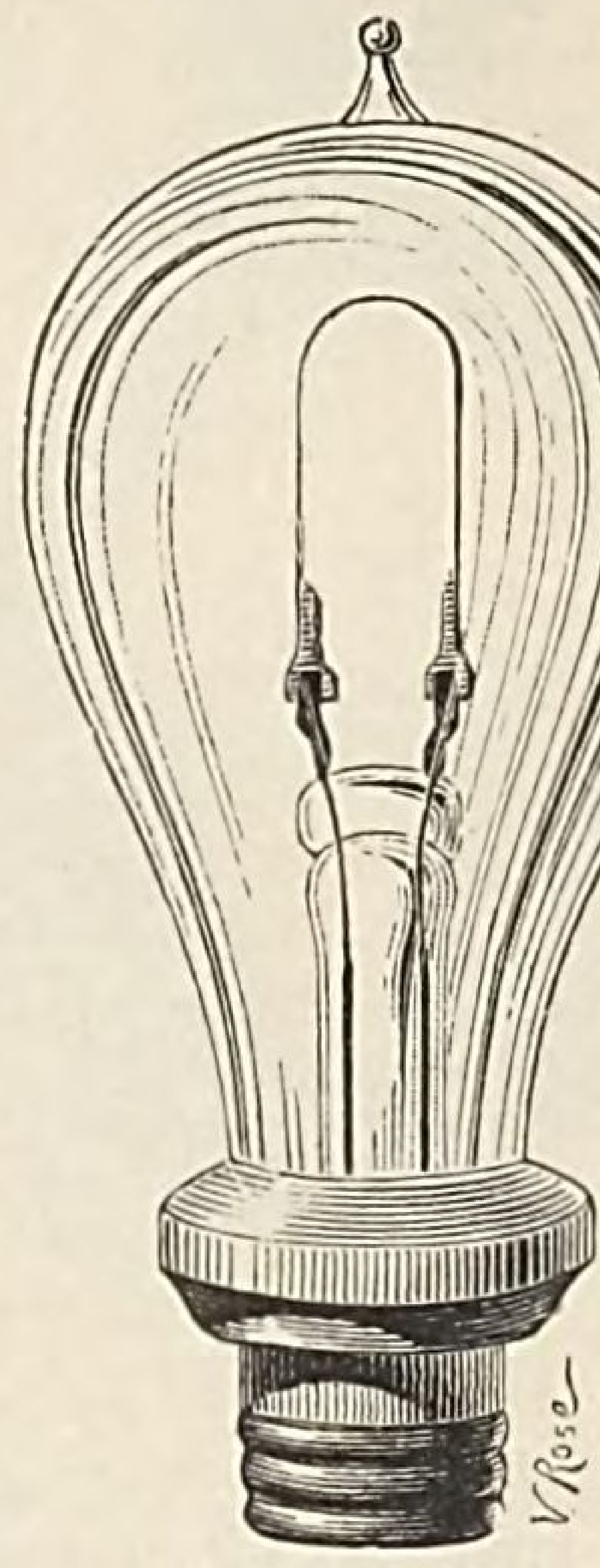
dem Bogenlicht die trennende Luftschicht zwischen den beiden Kohlen vom Strom durchflossen wird und dadurch die Kohlen sowohl, wie die mit Kohlentheilchen versetzte Luftschicht ins Leuchten kommen, ist die Grundlage des elektrischen Glühlichtes die Erwärmung eines vollständigen Leiters durch den elektrischen Strom.

Ein jeder Leiter wird, wenn ein elektrischer Strom durch ihn fliesst, nach dem Joule'schen Gesetz erwärmt und die in ihm erzeugte Wärmemenge ist gleich dem Quadrat der Intensität des durchgehenden Stromes multiplicirt mit dem Widerstand des Leiters. Bei gleicher Stromstärke ist also die Erwärmung eines Leiters um so grösser, je grösser der Widerstand desselben ist. Ist die entwickelte Wärmemenge gross genug, so kommt der Leiter in helles Glühen und wenn er schmelzbar ist, so wird er durch den elektrischen Strom geschmolzen. Diese Thatsachen waren lange bekannt und schon lange hatte man versucht, dünne Metalldrähte, insbesondere Platindrähte, die zum Glühen gebracht waren, zur Beleuchtung zu verwenden. Indess war bei Metallen eben die Gefahr des Schmelzens eine sehr grosse. Wurde der Strom zu stark, so wurde der glühende Platindraht weggeschmolzen, und die Beleuchtung hörte auf. Es bot sich daher als bestes Material für solche Glühlichter die Kohle dar, welche bekanntlich noch auf keine Weise, durch keine noch so hoch gesteigerte Temperatur zum Schmelzen gebracht werden konnte. Ausserdem leuchtet die Kohle, wenn sie durch einen Strom zum Glühen gebracht wird, mit sehr hellem Licht. Aber glühende Kohle verbindet sich mit dem Sauerstoff der Luft, sie verbrennt rasch und es ist deshalb eine nothwendige Forderung, wenn man glühende Kohle zur Beleuchtung benutzen will, sorgfältig den Sauerstoff der Luft von ihr abzuhalten. Man muss also die Kohle in Glasgefässe einschliessen, aus denen man alle Luft sorgfältig auspumpt. Eine möglichst vollkommene Evakuation der Luft aus Glasgefässen ist aber nur dann zu erreichen, wenn erstens das Glasgefäss ganz ohne Kitt verschlossen ist, wenn der Verschluss nur durch Zuschmelzen des Glases hergestellt ist. Es muss also die Kohle auf irgend eine Weise durch Einschmelzen in dem Glasgefäss befestigt sein. Das lässt sich nun zum Glück leicht machen, wenn man die Enden des Kohlendrahtes an Platindrähte befestigt. Platin lässt sich nämlich leicht und dauerhaft in Glas einschmelzen, weil es denselben Ausdehnungscoefficienten hat, wie Glas. Zweitens ist es nothwendig, das Glasgefäss beim Auspumpen auf hohe Temperatur (bis nahe zur Rothgluth) zu bringen, weil sich sonst eine Menge Luft an den Wänden des Glases condensirt, welche auf andere Weise gar nicht wegzuschaffen ist. Wenn man aber diese beiden Hülfsmittel benutzt, so ist es bei der Vorzüglichkeit der neuen Luftpumpen leicht, Glasgefässe fast vollkommen luftleer zu machen.

Die Anwendung der Kohle zur Erzeugung von Glühlicht empfahl sich zwar von vornherein durch die erwähnten Vortheile. Aber es war sehr schwer, Kohle in so dünne Streifchen zu bringen, wie sie für das Glühen nöthig sind, ohne dabei ihre Haltbarkeit zu beeinträchtigen. Auch dieses ist ein Verdienst von Edison, zum ersten Male ausserordentlich dünne Kohlenfäden von grosser Haltbarkeit her-

gestellt zu haben. Edison verfertigt die Kohlenstreifchen dadurch, dass er sehr dünne Fasern von Bambusrohr verkohlt. Eine solche Faser bringt er dann in die Form eines länglichen Hufeisens und setzt sie in das Glasgefäss ein. Fig. 289 giebt eine Ansicht einer Edisonschen Lampe. Die Enden der Kohlenstreifchen sind etwas verdickt und durch einen galvanoplastischen Kupferniederschlag mit den ebenfalls etwas verdickten Enden der dünnen Platindrähte verbunden, welche eingeschmolzen durch den Glaskörper hindurchgehen und die Zuleitung des Stromes in die Kohle vermitteln. Um diese Zuleitung leicht und sicher herstellen zu können, ist jede Lampe mit einem metallischen Schraubengewinde versehen, mit welchem sie in das Lampengestell eingeschraubt werden kann. Das Ende des einen Platindrahtes führt seitlich an das Schraubengewinde, das andere an den Boden der Lampe selbst, wo es in ein Metallblättchen ausläuft. Die beiden Enden sind durch Gyps von einander isolirt. In dem Träger der Lampe ist die zugehörige Schraubenmutter eingeschnitten und in diese führt der eine Draht der Zuleitung von der Maschine. Am Boden des Lampenträgers befindet sich isolirt eine Metallfeder, mit welcher der zweite Draht von der Maschine verbunden ist. Beim Einschrauben der Lampe in den Träger drückt sich ihr Metallblättchen am Boden auf die Feder auf und bewirkt so einen vorzüglichen Contakt, so dass der Strom sicher hindurchgehen kann. Will man die Lampe auslöschen, so braucht man sie nur aus dem Träger etwas herauszuschrauben, dann ist der Contakt am Boden der Lampe unterbrochen und der Strom fliesst nicht mehr durch sie.

Fig. 289.

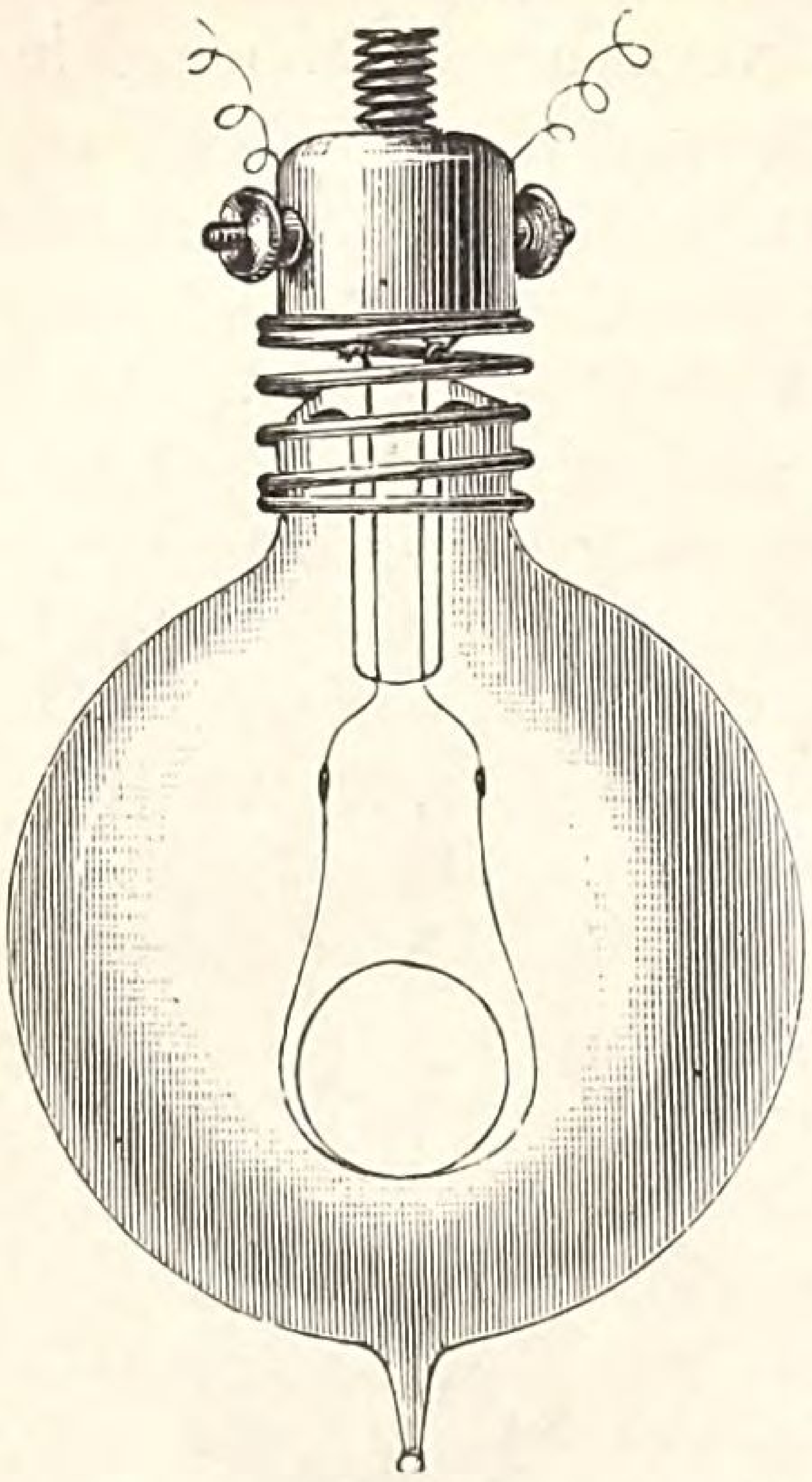


Die Leuchtkraft der Lampen hängt ausser von der Stärke des Stromes allein ab von der Grösse des Widerstandes des Kohlenstreifchens. Edison stellt die Kohlen gewöhnlich in zwei Grössen her, die eine Sorte (A-Lampen) hat einen Widerstand von 120 Ohm, die andere (B-Lampen) von 60 Ohm. Bei gleicher Stromstärke leuchtet also die erste doppelt so stark wie die zweite. Uebrigens nimmt der Widerstand der Kohlen bei der Erwärmung, wie wir wissen, ab und zwar sehr erheblich, so dass der Widerstand einer Lampe, wenn sie in Weissgluth ist, nur etwa halb so gross ist, wie im kalten Zustande.

Eine jede Lampe von Edison braucht, um zum hellen Leuchten zu kommen, einen Strom von etwa 0,8 Ampère. Dann strahlt die grosse Lampe ein Licht aus von etwa 16 Normalkerzen Stärke, die kleine ein solches von 8 Kerzen Stärke, wie es für Zimmer brauchbar ist. (Für specielle Zwecke verfertigt Edison auch Lampen, die bis zu 100 Normalkerzen Lichtstärke haben.) Es muss folglich bei der grösseren Lampe im normalen Zustand an ihren Enden eine Potentialdifferenz von etwa

$$120 \text{ Ohm} \times 0{,}8 \text{ Ampère} = 96 \text{ Volt}$$

Fig. 290.

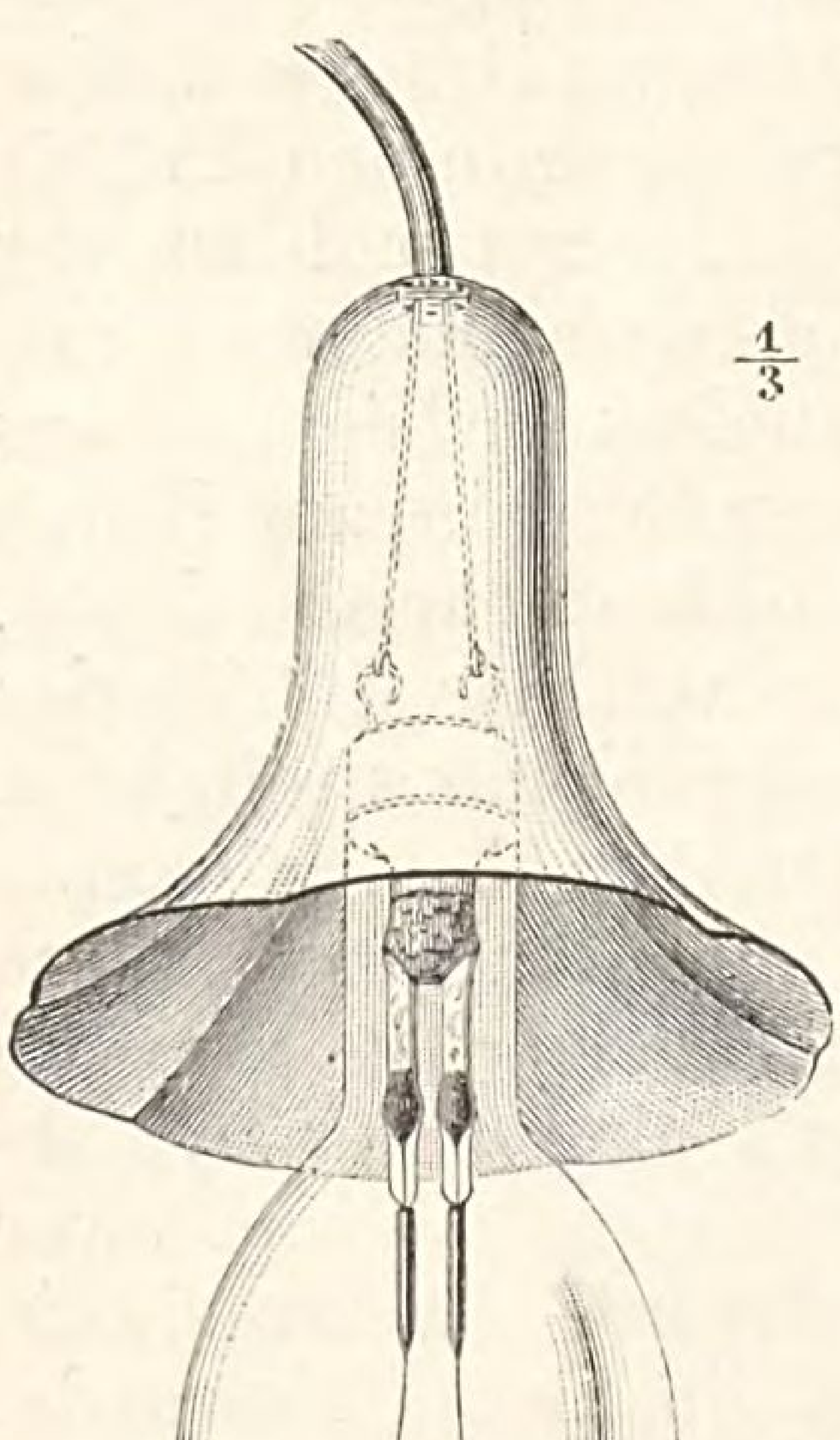


herrschen. Eine solch hohe Potentialdifferenz bei so grossem Widerstand hervorzubringen, das ist mit Dynamomaschinen ohne Weiteres nicht möglich, denn wir wissen, dass die elektromotorische Kraft der Maschine mit wachsendem äusseren Widerstand sehr erheblich abnimmt. Auf wie einfache Weise dennoch Edison die Lampen von einer Maschine betreiben lässt, werden wir im Folgenden sehen.

Zum Theil noch vor Edison sind von Anderen eine ganze Reihe verschiedener Glühlampen construirt worden, welche sich von der Edison'schen hauptsächlich nur durch die Form und Herstellungsweise der Kohlenstreifchen unterscheiden und durch die Art und Weise, wie der Contakt mit den Zuleitungsdrähten der Maschine hergestellt ist.

Die Lampe von Swan, welche in Fig. 290 abgebildet ist, enthält ein Kohlenstreifchen, welches einmal kreisförmig geschlungen ist. Swan stellt die Kohlenfäden dadurch her, dass er Baumwollfäden von etwa 10 Centimeter Länge in der Form einer Schlinge in ein Bad von Schwefelsäure bringt und sie, nachdem sie in der Schwefelsäure verkohlt sind, mit Kohlenpulver bedeckt und in einem Muffelofen bis zur Rothgluth erhitzt. Die verdickten Enden, an welche die Platindrähte befestigt werden, stellt er dadurch her, dass er den Baumwollfaden dort noch mit einigen Windungen Baumwolle vor dem Verkohlen umschlingt. Die aus dem Glaskörper herauskommenden Platindrähte werden in Oesen umgebogen und mit diesen in Haken eingehängt, welche in dem Träger sich befinden. Zur Herstellung einer ordentlichen Berührung werden Lampe und Träger durch Metallfedern an einander gedrückt. Die Swan-Lampen werden in zwei Grössen gebraucht, auch für etwa 16 und 32 Kerzen Stärke. Die Widerstände derselben sind etwa 32 und 80 Ohm, die für sie nöthige Stromstärke 1,25 Ampère.

Fig. 291.



$\frac{1}{3}$

Bei der Lampe von Lane-Fox, welche in Fig. 291 abgebildet ist, wird die Kohle aus gewissen Pflanzenwurzeln hergestellt, welche erst in ein Schwefelsäurebad gelegt werden, um die Rinde leicht entfernen zu können. Dann werden die Fasern mit Graphit bedeckt und bis zur Weissgluth erhitzt. Die Enden der Kohlenfasern sind durch einen sehr feinen leitenden Cement mit den Enden der Platin-

drähte verbunden, welche in Glasstäbchen eingeschmolzen sind. Die anderen Enden der Platindrähte tauchen in Quecksilber ein, welches in kleinen Glaskügelchen sich über den Glasstäben befindet. In dasselbe Quecksilber werden dann amalgamirte Kupferdrähte getaucht, welche in Gyps eingebettet sind und an welche die äusseren Leitungsdrähte angelegt werden. Diese Art der Verbindung ist in Fig. 292 gezeichnet. Bei h h befindet sich die Cementverbindung der Kohlenfaser k k mit den Platindrähten g, welche in die mit Quecksilber ge-

Fig. 292.

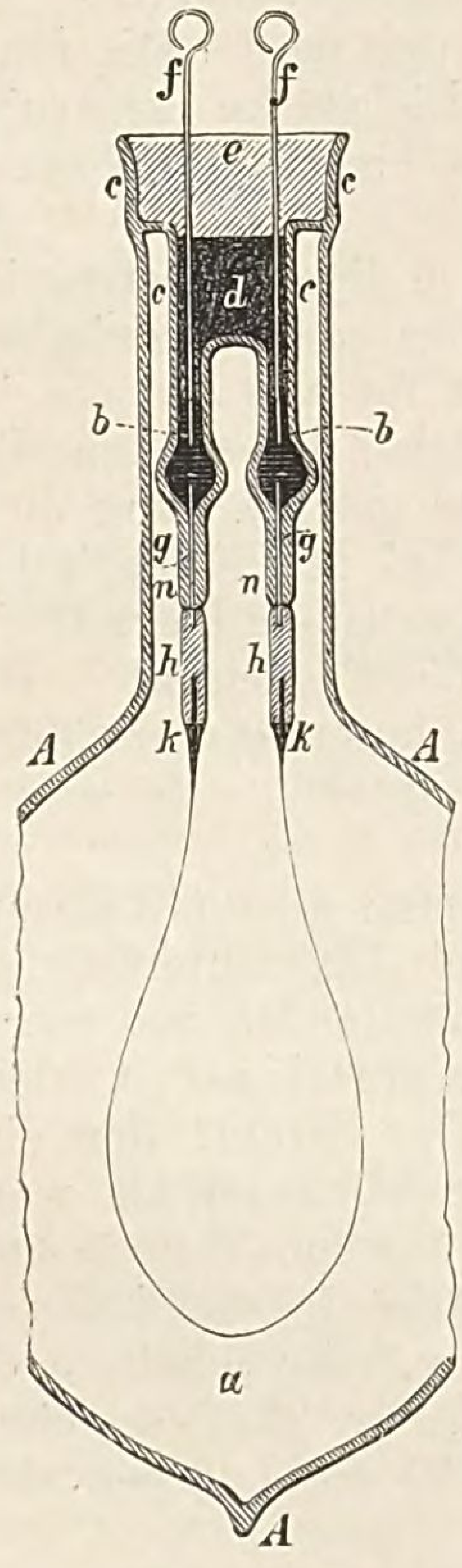
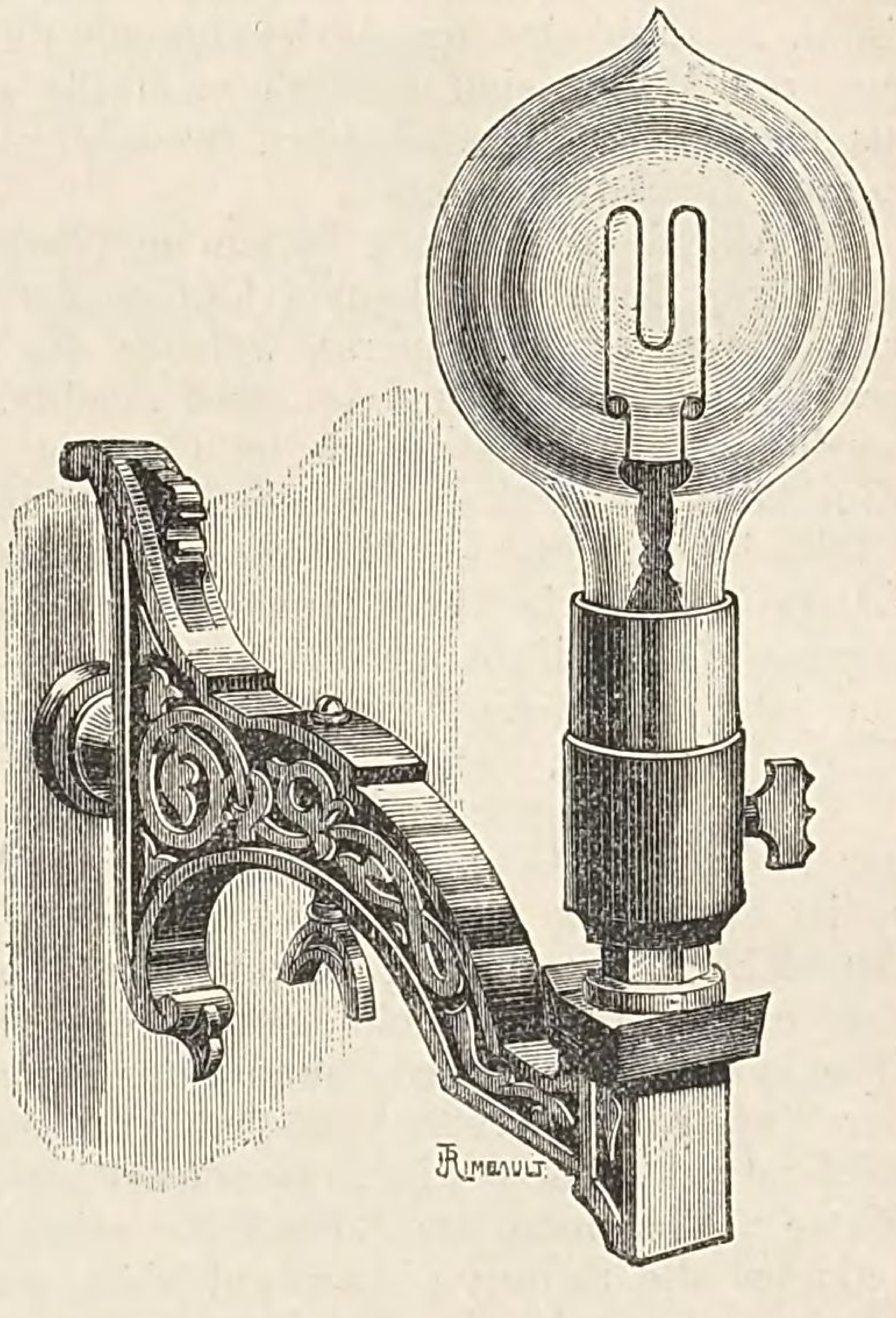


Fig. 293.



füllten kleinen Kugeln b b eintauchen. In diese reichen von oben die Kupferdrähte f f ein, die mit ihren Oesen in die Leitungsdrähte eingehängt werden.

Etwas abweichend sieht die Lampe von Maxim aus (Fig. 293). Der Kohlenbügel hat die Form eines M und ist viel breiter als bei den übrigen Lampen. Er ist aus Bristolpapier geschnitten, welches leicht verkohlt wird und dann in Leuchtgas durch einen elektrischen Strom glühend gemacht wird. Dann scheidet sich aus dem Leuchtgas die Kohle in sehr dichtem Zustand auf dem Papier ab und der Bügel erhält überall gleichmässige Stärke. Die Enden der Zuleitungsdrähte werden an die Kohlenenden, welche verbreitert sind, durch kleine

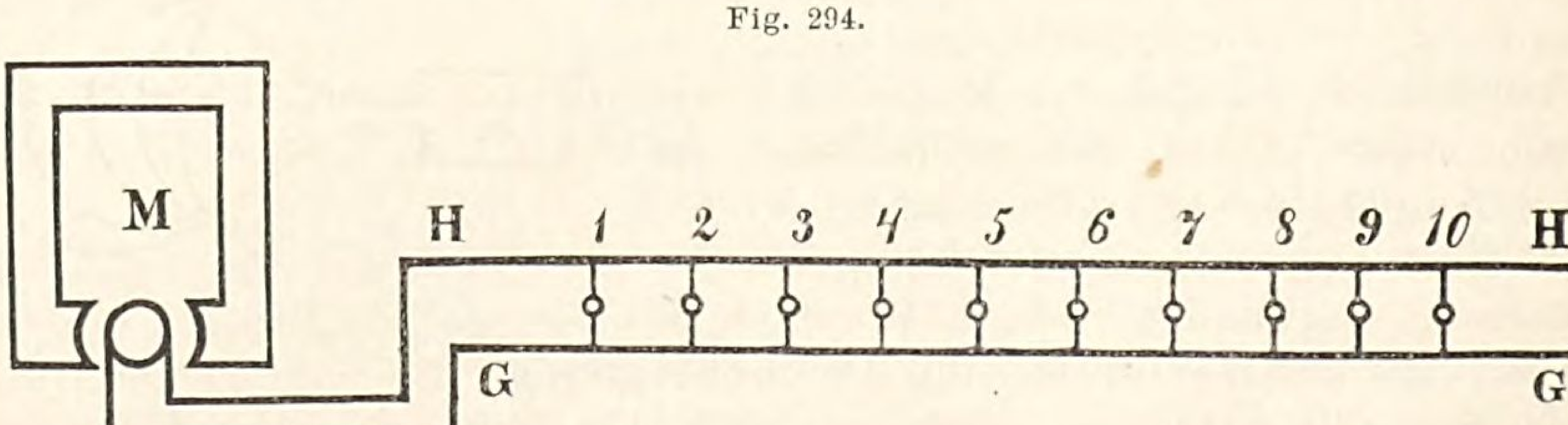
Schrauben befestigt. Eine Lampe von Maxim hat etwa 50 Ohm Widerstand. Die Maxim'sche Lampe unterscheidet sich dadurch vor den anderen, dass sie nicht zugeschmolzen ist, sondern dass der Verschluss vielmehr durch einen eingeschliffenen Stöpsel hergestellt ist, durch welchen die Platindrähte hindurchgehen. Ist die Lampe evakuirt, so wird durch den äusseren Luftdruck dieser Stöpsel sehr dicht in die Lampe eingedrückt.

Zu erwähnen sind endlich von neueren Lampen noch die von Müller in Hamburg, welche ähnlich aussehen, wie die Swan'schen. Der Kohlenstreifen ist bei diesen nicht 1mal gebogen, sondern 3- bis 4mal, so dass eine grosse leuchtende Fläche erzeugt wird. Die Lampen von Müller sind deshalb auch für grössere Lichtstärke construirt, als man sie in Privatzimmern braucht, sie können bis zu 100 Normalkerzen Lichtstärke geben.

Alle diese Lampen bieten im Wesentlichen in ihrer Construktion und ihrer Benutzung keinen Unterschied gegenüber den Edison'schen. Edison war es aber zuerst, welcher das Glühlicht für alle Zwecke der praktischen Anwendung geeignet machte, und welcher dasselbe zur Beleuchtung von Stadttheilen im Grossen brauchbar machte, und diese Einrichtungen sind das Wesentlichste und Neue bei der Edison'schen Glühlichtbeleuchtung. Nur die in neuester Zeit construirte Bernstein-Lampe weicht in ihrer Anwendung von den Edison'schen ab. Wir werden daher diese am Schlusse dieses Kapitels besonders erwähnen und jetzt zuerst die Einrichtung von Beleuchtungsanlagen, wie sie von Edison herrührt, beschreiben.

Mit einer gewöhnlichen Dynamomaschine kommt eine Glühlampe gar nicht zum Glühen. Denn da ihr Widerstand 120 Ohm beträgt, so ist der Strom wegen des grossen äusseren Widerstandes und wegen des daher rührenden geringen Magnetismus der Maschine so klein, dass er die Lampe nicht genügend erwärmt. Der Strom, den eine Dynamomaschine liefert, nimmt aus doppeltem Grunde rasch ab, wenn der äussere Widerstand wächst und umgekehrt, wenn der äussere Widerstand kleiner wird, so wächst die Stromstärke in viel höherem Masse. Dies benutzte Edison für seine Anordnung. Er schaltete die Lampen alle neben einander, also so wie es in Fig. 294 gezeichnet ist, in welcher M die Maschine und 1, 2, 3 bis 10 die Lampen sind.

Fig. 294.



Durch die Nebeneinanderschaltung der Lampen wird der gesammte Widerstand des äusseren Stromkreises kleiner als der jeder einzelnen Lampe. Haben die Verbindungsdrähte (welche man ja beliebig stark

nehmen kann) einen sehr kleinen Widerstand, so ist der gesammte äussere Widerstand z. B. bei 10 Lampen blos $\frac{120}{10}$ Ohm = 12 Ohm, bei 40 Lampen blos $\frac{120}{40} = 3$ Ohm. Durch jede von den Lampen fliesst aber blos ein Zweigstrom. Ist z. B. die Stromstärke, die bei 12 Ohm äusserem Widerstand im Hauptstromkreis erzeugt wird, gleich 5 Ampère, so fliesst durch jede von den 10 Lampen blos ein Strom von $\frac{5}{10} = 0{,}5$ Ampère. Da jede Lampe 0,8 Ampère braucht, um zu der bestimmten Leuchtkraft zu kommen, so genügt diese Stromstärke nicht, die Lampen bleiben dunkel. Nimmt aber der äussere Widerstand von 12 Ohm auf 3 Ohm ab, so wächst die Stromstärke nicht blos im Verhältniss von 12 zu 3, also von 5 Ampère auf 20 Ampère, sondern sie wächst rascher. Sie ist dann z. B. nicht 20 Ampère, sondern 30 Ampère. Dann fliesst durch jede der 40 Lampen ein Strom von $\frac{30}{40} = 0{,}75$ Ampère, also ein stärkerer Strom als früher, aber auch dieser Strom genügt noch nicht, um richtiges Leuchten hervorzubringen.

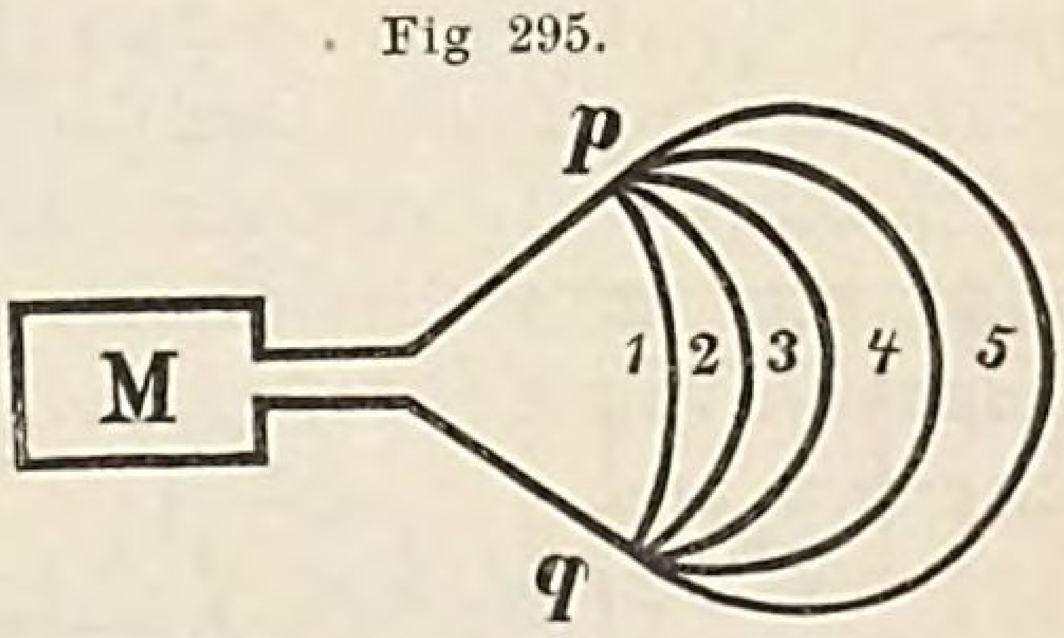
Schaltet man aber etwa 60 Lampen neben einander, so ist der äussere Gesammtwiderstand $= \frac{120}{60} = 2$ Ohm und die Stromstärke im Hauptstrom wächst nicht blos im Verhältniss von 3 zu 2, also von 30 Ampère auf 45 Ampère, sondern rascher, etwa auf 50 Ampère. Dann fliesst durch jede Lampe ein Strom von $\frac{50}{60} = 0{,}8$ Ampère und dieser Strom ist gerade passend, um die Lampen zum normalen Leuchten zu bringen.

Wenn die Verbindungsdrähte der gesammten Lampen so dick sind, dass ihr Widerstand vernachlässigt werden kann, dann herrscht an den Enden jeder Lampe dieselbe Potentialdifferenz, denn man kann dann das Schema sich einfach so denken, wie es in Fig. 295 gezeichnet ist. Von den Enden p und q gehen dann alle Lampen (in der Figur sind 5 gezeichnet) aus und man kann leicht die Potentialdifferenz angeben, welche an den Polen der Maschine herrschen muss. Diese Potentialdifferenz ist

0,8 Ampère × 120 Ohm = 96 Volt,

und diese muss also an den Endpolen der Maschine vorhanden sein. Wenn man weiss, in welcher Weise die Potentialdifferenz an den Enden einer Maschine (die Klemmspannung) sich mit dem äusseren Widerstand ändert, so kann man auch sofort angeben, wie viel Edison'sche Lampen man in den äusseren Stromkreis dieser Maschine (bei bestimmter Tourenzahl) einschalten kann, um in jeder einen Strom von 0,8 Ampère zu erhalten. Je mehr Lampen man aber in den äusseren Stromkreis neben

Fig 295.



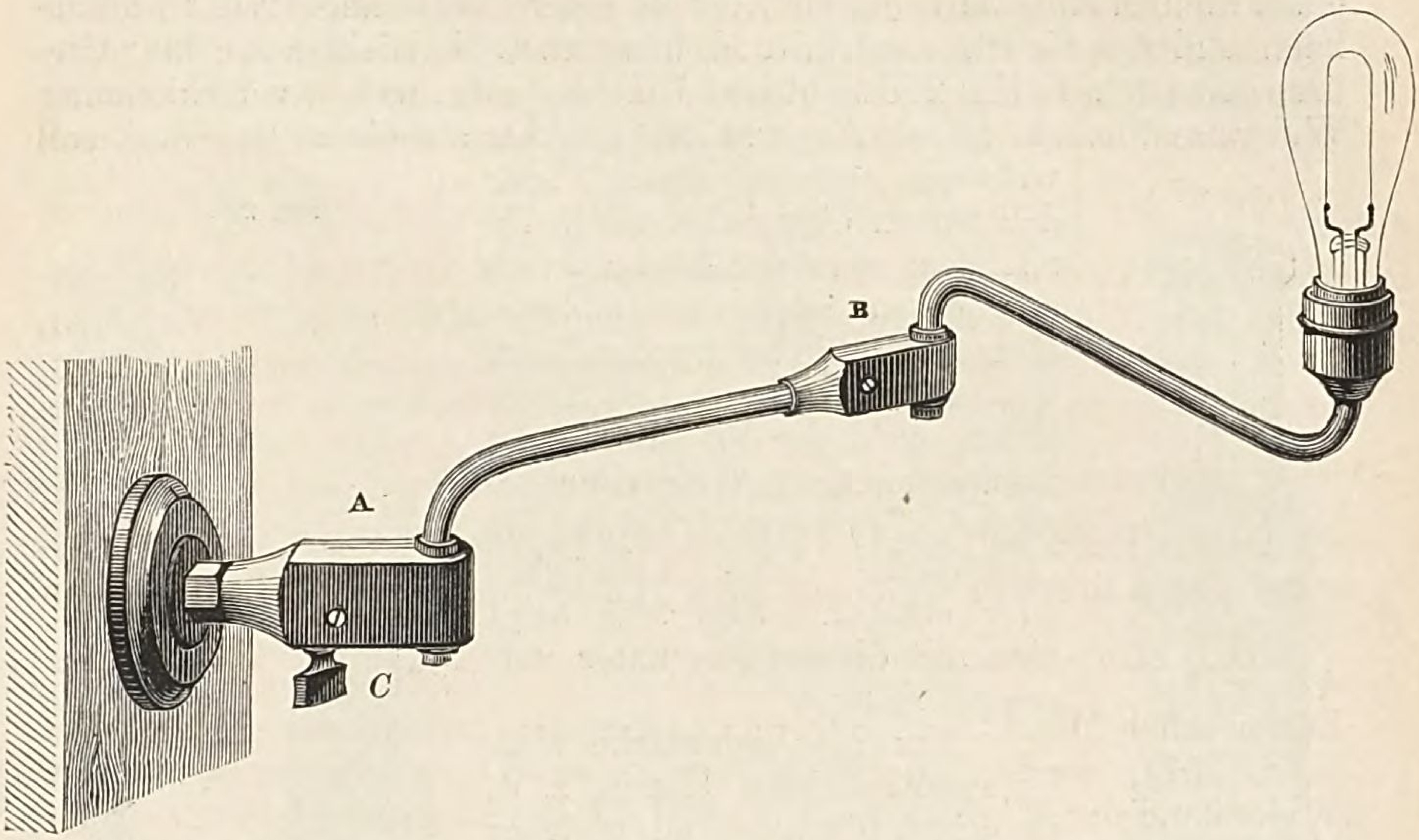
einander schaltet, desto geringer wird der Gesammtwiderstand des äusseren Stromkreises, desto geringer muss also auch, um möglichst ökonomisch zu arbeiten, der innere Widerstand der Maschine sein. Es soll ja theoretisch für das Maximum des Effekts der innere Widerstand der Maschine gleich dem äusseren sein; praktisch dagegen würde ein solches Verhältniss die Maschinen sehr rasch ruiniren, weil dann die Erwärmung der Maschinendrähte eine zu grosse ist. Am zweckmässigsten soll vielmehr der innere Widerstand nur etwa $\frac{3}{7}$ des äusseren betragen. Man sieht daraus, dass zur Beleuchtung mit Glühlicht die Einrichtung der Maschinen eine ganz bestimmte sein muss. Will man z. B. von einer Maschine 250 Edison'sche Lampen speisen lassen, so hat der gesammte äussere Stromkreis, wenn man von den Zuleitungsdrähten absieht, einen Widerstand von $\frac{120}{250}$, also ungefähr 0,5 Ohm. Dann soll aus Zweckmässigkeitsgründen der innere Widerstand des rotirenden Cylinders oder Ringes nur einen Widerstand von $\frac{3}{7} \cdot 0{,}5$, also etwas über 0,2 Ohm haben. Die Magnete sind bei der Edison'schen Maschine nicht direkt in den Hauptstromkreis eingeschaltet (s. S. 257), sondern sie liegen im Nebenschluss. Es muss nun der Widerstand der Magnetwindungen und die Drehungsgeschwindigkeit der Maschine so eingerichtet werden, dass jede Lampe einen Strom von 0,8 Ampère erhält, dass also in dem Hauptstromkreis eine Intensität von $0{,}8 \times 250 = 200$ Ampère herrscht. So erfordert jede Maschine für Glühlicht eine ganz specielle Abmessung ihrer Dimensionen und ihrer Geschwindigkeit.

Die Edison'schen Lampen sind, wie gesagt, so eingerichtet, dass sie einen Strom von 0,8 Ampère vertragen und erfordern. Dann giebt die grössere Lampe, die A-Lampe, eine Lichtstärke von 16 Normalkerzen, also etwa so viel wie eine Strassengasflamme, und die kleinere, die B-Lampe, eine Lichtstärke von 8 Normalkerzen, also so viel, wie eine gute Petroleumlampe. Man könnte natürlich die Leuchtkraft der Lampen erhöhen, wenn man die Stromstärke vergrössert, doch ist dann die Gefahr vorhanden, dass die Kohlenstreifchen rasch zerstäuben, und die Lampe unbrauchbar wird. Auch bei der normalen Lichtstärke zerstäuben die Kohlen allmählich und jede Lampe hat also nur eine bestimmte, beschränkte Lebensfrist. Doch halten die Lampen von Edison nach neueren Versuchen im Durchschnitt 800 Brennstunden aus.

Während man die Lampen nicht ohne Gefahr des Unbrauchbarwerdens heller brennen lassen darf, als normal, steht dagegen nichts im Wege, sie weniger hell brennen zu lassen, oder sie ganz auszulöschen. Das letztere kann leicht dadurch erreicht werden, dass die Lampe in ihrer Fassung etwas in die Höhe geschraubt wird. Dadurch wird der Contakt mit der Feder und in Folge dessen der Strom unterbrochen. Edison hat aber auch an den Lampenträgern Hähne angebracht, nach Art der Gashähne. Die Hähne vermitteln die Berührung

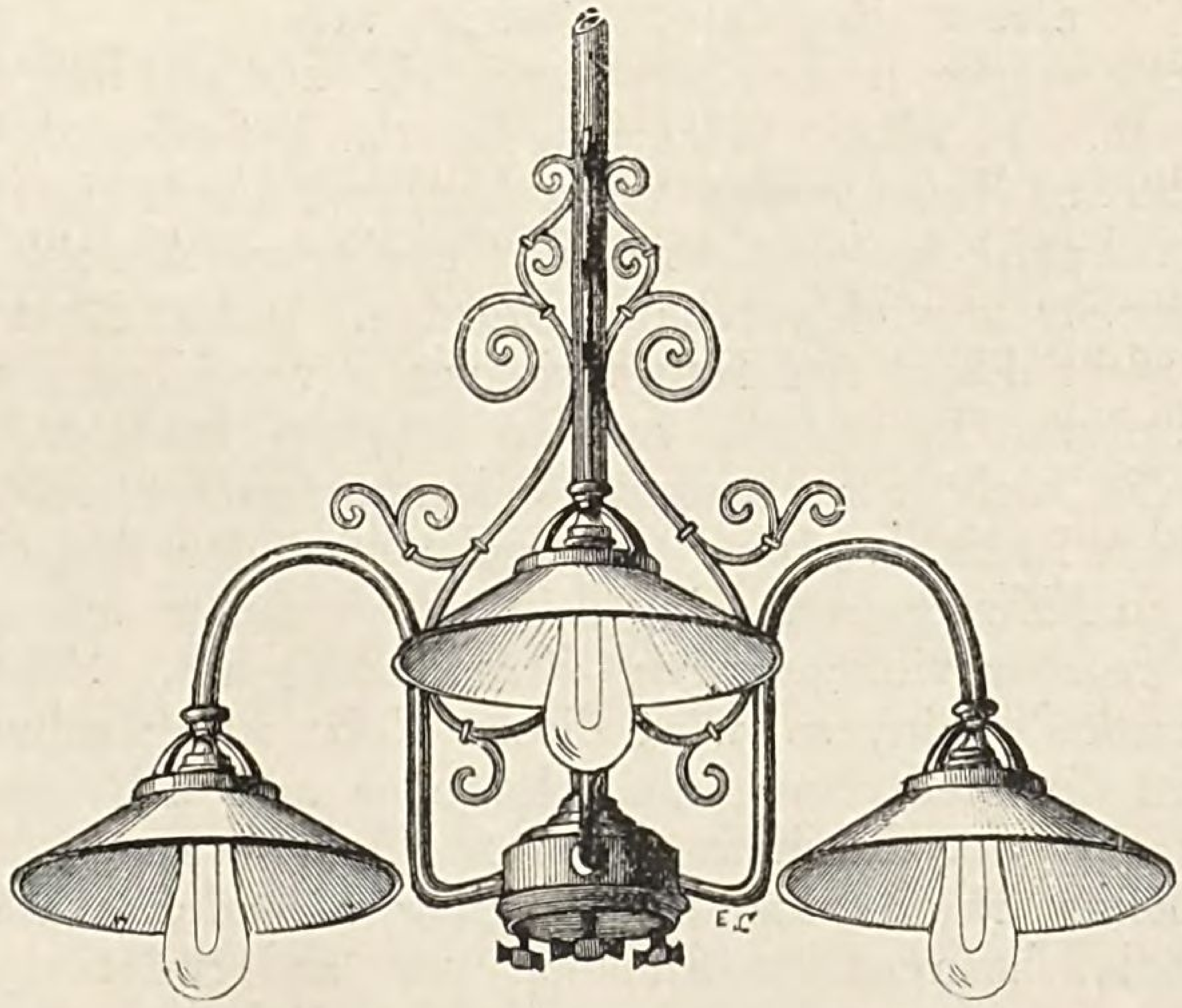
zwischen 2 Federn und gestatten in einer Stellung dem Strom den Durchgang, und unterbrechen ihn in der anderen Stellung. So zeigt

Fig. 296.



z. B. die Lampe in Fig. 296, welche als Wandlampe dient, einen Hahn C. Die Gelenke bei A und B sind so eingerichtet, dass bei

Fig. 297.



jeder Drehung derselben der Strom doch durch fest andrückende Federn sicher in die Lampe geleitet wird. Edison stellt seine Lampen in allen möglichen Anordnungen her, damit sich die Glühlichtbeleuchtung in nichts von der Gasbeleuchtung unterscheidet. In Fig. 297 ist z. B.

ein Kronleuchter für 3 Lampen gezeichnet, wie er für kleinere Privatzimmer gebraucht wird.

Um die Lichtstärke einer Lampe verringern zu können, hat Edison einen kleinen Apparat construirt, der an jeder Lampe angebracht werden kann und der die Stromstärke und daher auch die Lichtstärke zu reguliren gestattet. In Fig. 298 sieht man 7 Kohlenstäbe, welche verschiedenen Widerstand haben. Dieser Apparat sitzt drehbar auf einem Boden, durch welchen mittelst einer Feder der Strom eingeleitet wird. Je nachdem man den Strom durch den einen oder den anderen Kohlenstab hindurchgehen lässt, also durch Drehung des Regulators, wird der Widerstand im Lampenzweig grösser oder geringer, die Stromstärke und die Lichtstärke daher schwächer oder stärker. Fig. 299 zeigt eine mit diesem Regulator versehene Lampe.

Fig. 298.

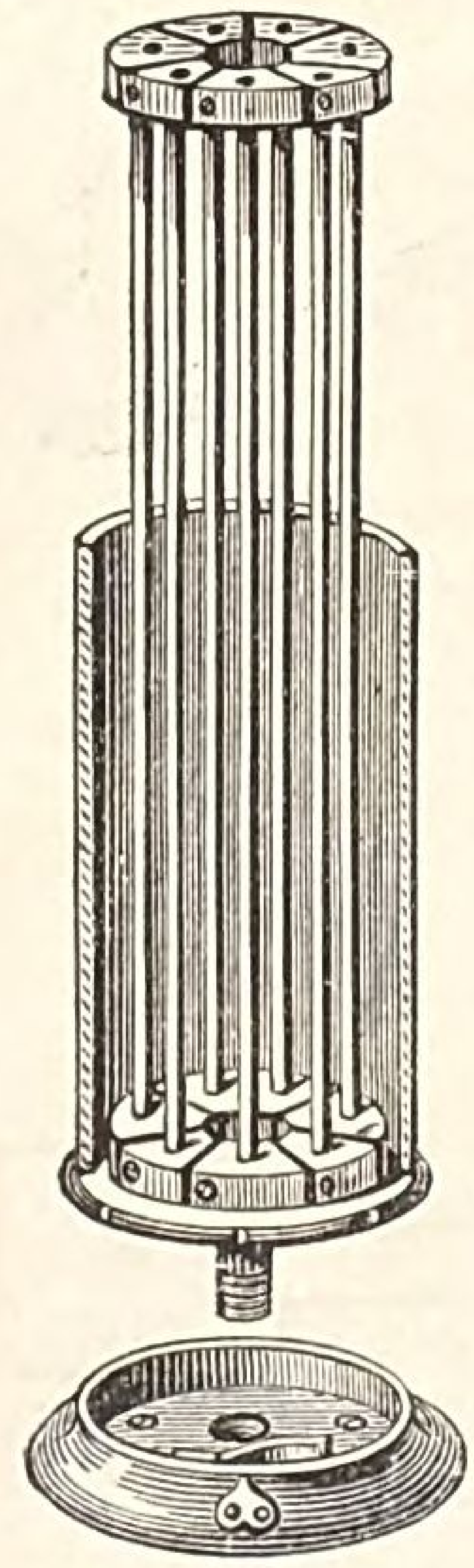
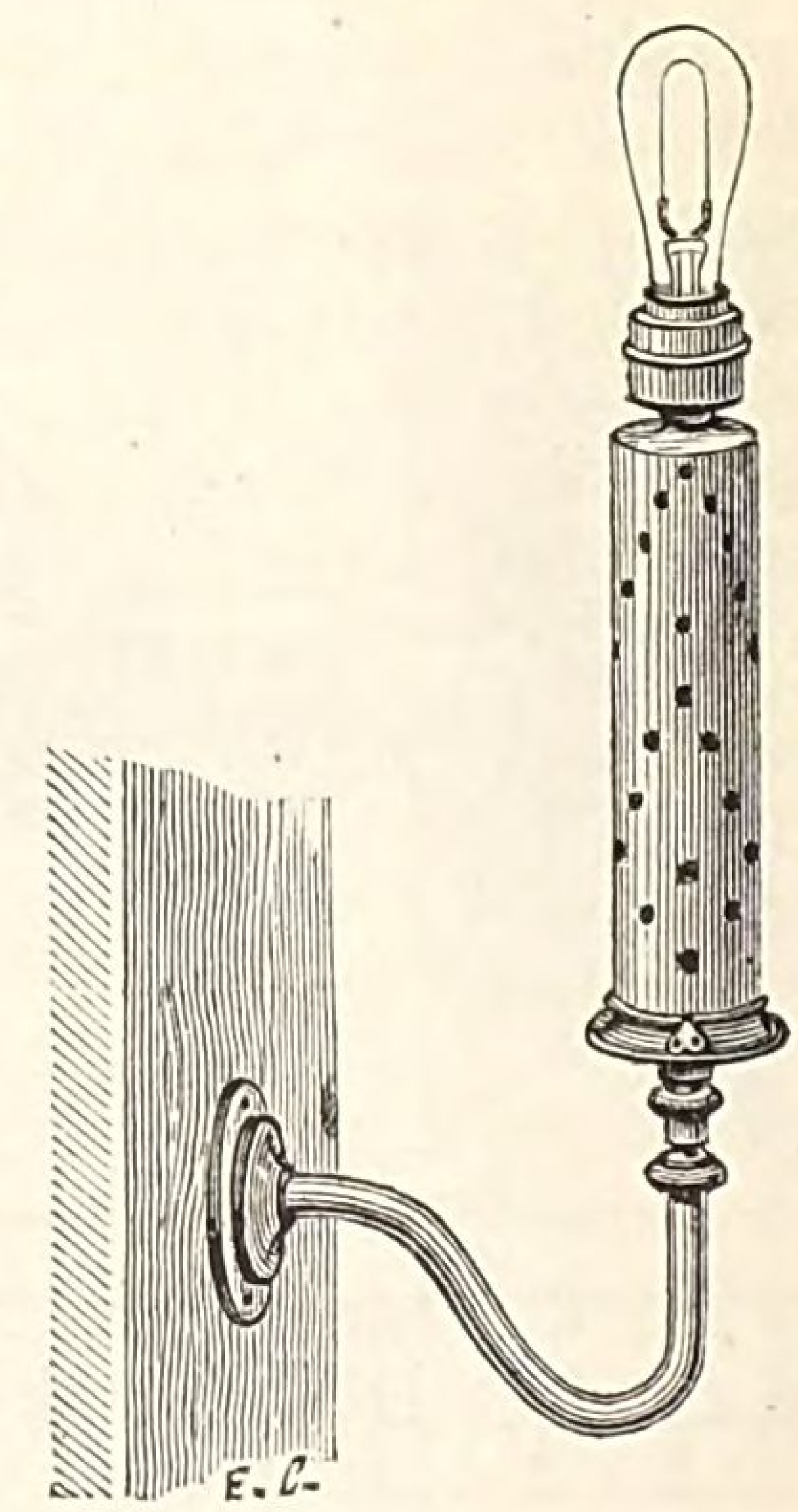


Fig. 299.



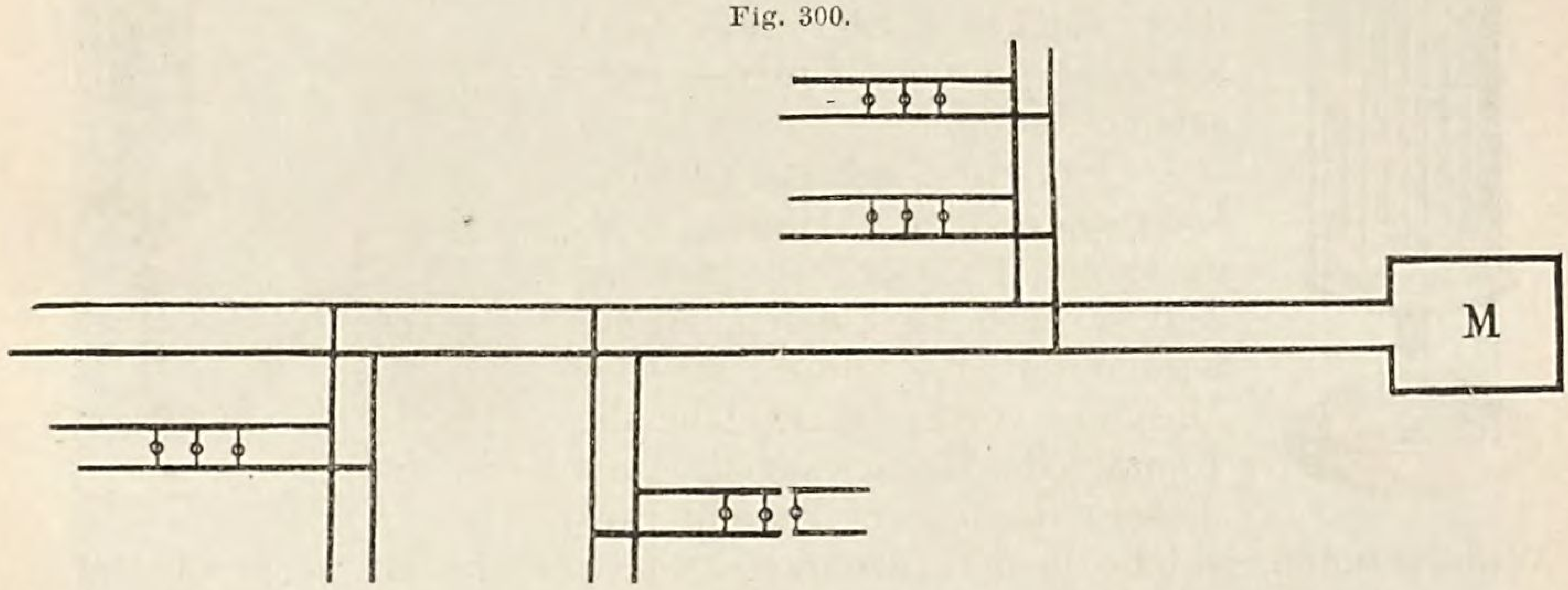
Um die Lichtstärke aller Lampen in einem Hause, z. B. in einem Theater, zu gleicher Zeit variiren zu können, ist ein besonderer Regulator an der Maschine vorhanden, welche alle Lampen des Hauses speist. Auch dieser Regulator besteht aus Widerständen, welche in den Stromkreis ein- und aus ihm ausgeschaltet werden können. In einem hölzernen Kasten befinden sich die Widerstände, welche aus Neusilberdraht bestehen, und durch einfache Drehung einer Kurbel kann eine grössere oder geringere Anzahl derselben in den Lauf des Stromes eingeschaltet werden. Indess lässt Edison diese Regulirung nicht direkt am Hauptstromkreis vornehmen, weil nämlich der unverzweigte Hauptkreis von so starken Strömen durchflossen wird, dass die nicht sehr dicken Widerstandsrollen im Regulirungskasten dadurch leiden würden. Vielmehr wird der Regulirungskasten in denjenigen Zweigstrom eingeschaltet, welcher um die Magnete fliesst, und welcher viel geringere Stromstärke hat. Schaltet man in diesen Widerstände ein, so wird dieser Nebenstrom schwächer. Dadurch werden die Elektromagnete schwächer und in Folge dessen auch der Hauptstrom, der durch die Lampen fliesst. Man kann auf diese Weise die Lichtstärke der Lampen beliebig verändern, und es hat sich bei Bühnenbeleuchtungen in München und anderwärts gezeigt, dass diese Regulirung ausserordentlich exakt und sicher vor sich geht.

Für kleine Einrichtungen indessen, für einzelne Privathäuser z. B. mit 50, 60 Lampen, für die man eine besondere Maschine aufstellen müsste, ist die Edison'sche Beleuchtung noch zu kostspielig. Sie stellt sich dann nicht nur theurer als die Beleuchtung durch Bogenlicht, sondern

auch theurer als die durch Gas. Es ist dies nicht auffallend, weil ja kleine Dampfmaschinen verhältnissmässig mehr Material brauchen, als grosse. Es würde sich ja auch das Gaslicht viel theurer stellen, wenn man für jedes Haus in einem eigenen Gasometer das Gas bereiten wollte. Deswegen hat Edison für Beleuchtung von Privathäusern die Einrichtung von Centralstellen ins Auge gefasst, um von diesen aus den Strom in die einzelnen Häuser zu senden, ganz wie bei der Gasbeleuchtung von den grossen Gasometern aus das Gas geliefert wird.

In den Centralstationen, wie sie z. B. in New-York eingerichtet sind, sind grosse feststehende Dampfmaschinen von vorläufig 400 Pferdekräften Stärke aufgestellt, welche in mehreren grossen Dynamomaschinen den Strom erzeugen. Die ganze Anlage ist auf 2200 Pferdekräfte berechnet, von welchen 12 der grössten Edison'schen Maschinen getrieben werden sollen. Von jeder Maschine geht nun eine Hauptleitung durch die Stadt, welche unterirdisch gelegt ist, und aus zwei dicken Halbcylindern von Kupfer (von je 17 mm Durchmesser des

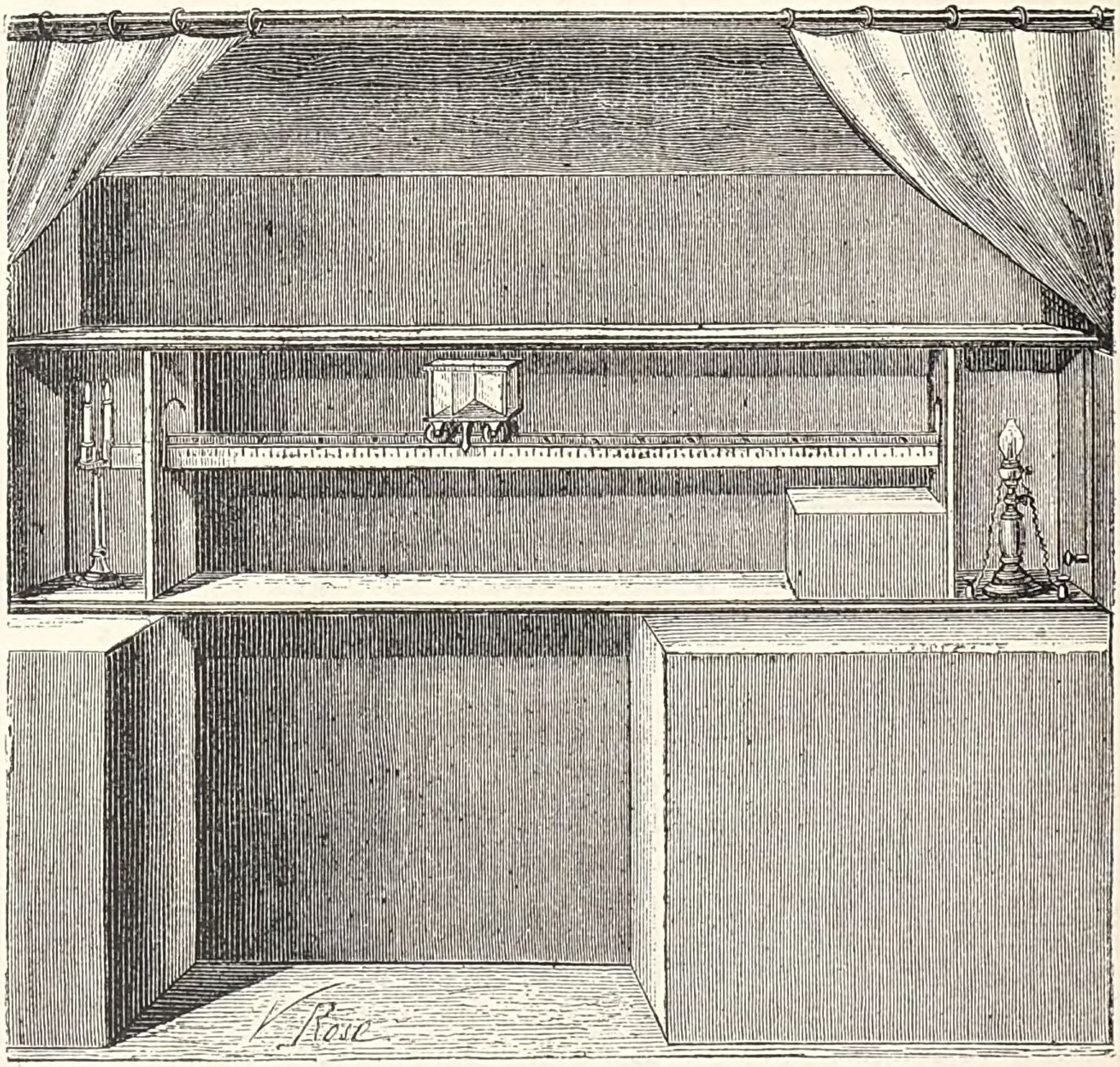
Fig. 300.



Grundkreises) besteht, die durch isolirendes Material von einander getrennt sind. Die Kupfercylinder sind von Eisenröhren umgeben. In jede Strasse gehen nun wieder Kupfercylinder aus, von geringerem Querschnitt und zwar von jedem Hauptcylinder einer. Noch geringeren Querschnitt haben die Leitungen, die in die Nebenstrassen führen, und endlich noch kleineren diejenigen, die in die einzelnen Häuser führen. Die Einrichtung ist also ganz analog, wie bei der Gasleitungseinrichtung. Die Abzweigungen sowie die Lampen jedes einzelnen Hauses sind nun alle neben einander geschaltet, so dass ein Theil der Einrichtung etwa aussieht, wie in Fig. 300, in welcher M die Maschine ist und die Lampen durch kleine Kreise angedeutet sind. Die nöthige Stromstärke wird nun in der Centralstation durch Regulirung hervorgebracht und zwar wird sie von einem angestellten Beamten vorgenommen, welcher an einem Galvanometer die Stromstärke misst und so lange Widerstände aus dem Kreis der Elektromagnete ausschaltet oder sie in ihn einschaltet, bis die Stromstärke die richtige Grösse hat. Zugleich brennt auch in dem Regulirungsraum eine Lampe, deren Lichtstärke durch photometrische Messungen bestimmt wird und die durch Veränderung der Stromstärke stets auf die normale Lichtstärke gebracht

wird. Fig. 301 zeigt die dazu benutzte Einrichtung. Um die Stromstärke in der Centralstation zu messen, zweigt Edison von zwei sehr nahe an einander liegenden Stellen des Hauptstromkreises, welche also nur sehr geringe Potentialdifferenz haben, den Strom ab und lässt ihn durch ein Spiegelgalvanometer gehen. Die Grösse des Ausschlags desselben giebt sofort ein genaues Mass für die Stromstärke. Die Einrichtung des Centralbureaus ist in Fig. 302 abgebildet. Bei G steht das Spiegelgalvanometer, bei Z seine Skala. Der Ausschlag

Fig. 301.

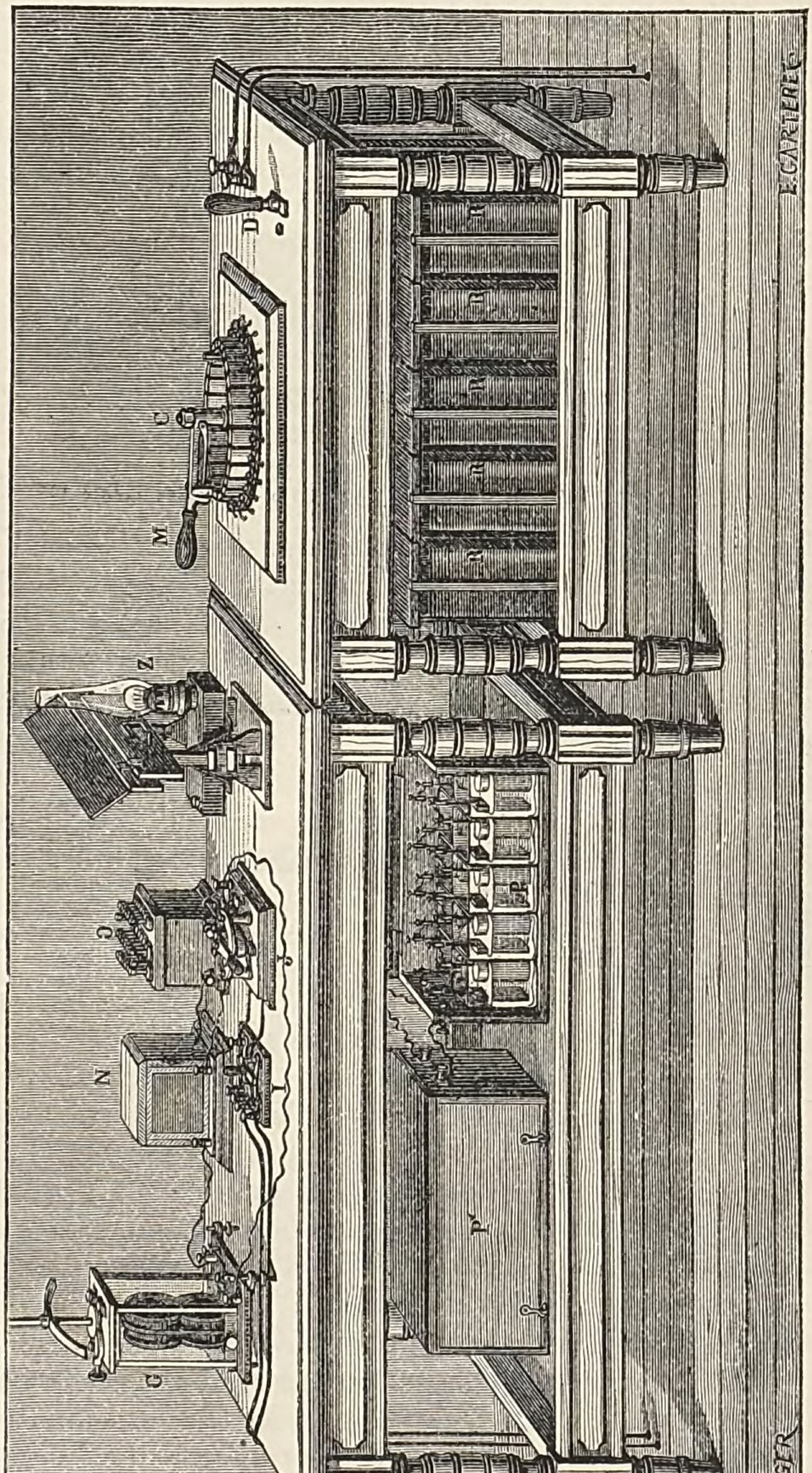


des Galvanometers wird stets verglichen mit dem, der durch den Strom einer constanten Batterie P herrührt, die durch bekannte Widerstände O geschlossen ist. Ist der Ausschlag, den das Galvanometer giebt, zu gross oder zu klein, so werden die Widerstände R durch die Kurbel C theilweise in die Magnetwindungen eingeschaltet oder aus ihnen ausgeschaltet, und so wird stets der Hauptstrom in gleicher Stärke erhalten.

Bei aller Vorsicht kann es nun aber doch vorkommen, dass einmal ein zu starker Strom in einzelne Häuser kommt. Es können z. B. einige hundert Lampen irgendwo zu gleicher Zeit ausgelöscht werden,

ohne dass der Beamte rasch genug die Stärke des Stromes passend verändern kann. Dann würden also durch die anderen Lampen zu

Fig. 302.



starke Ströme fliessen und diese könnten durchbrochen werden. Um dies zu vermeiden, hat Edison eine Sicherheitsvorrichtung angebracht.

Jedes Haus, das an die Leitung angeschlossen ist, erhält eine sogenannte Bleieinschaltung, welche in Fig. 303 gezeichnet ist.

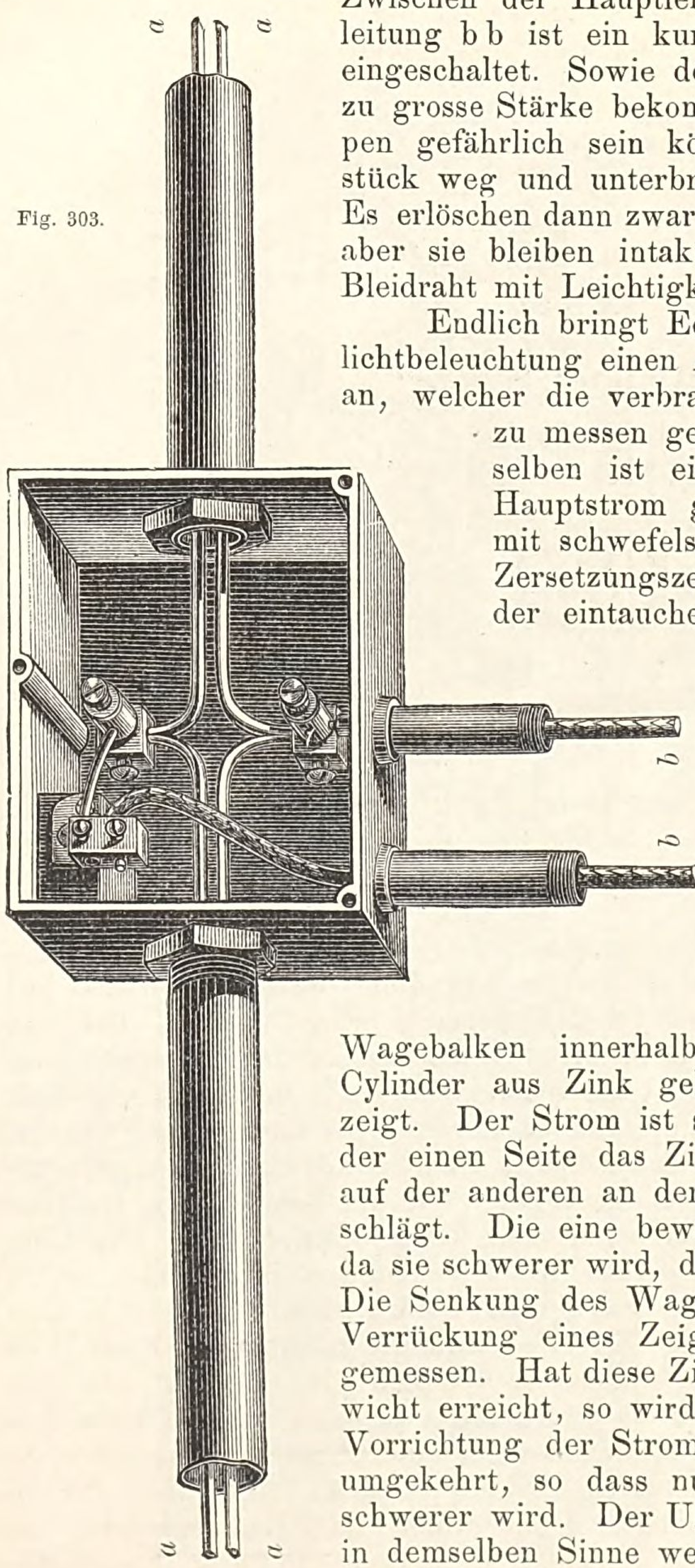


Fig. 303.

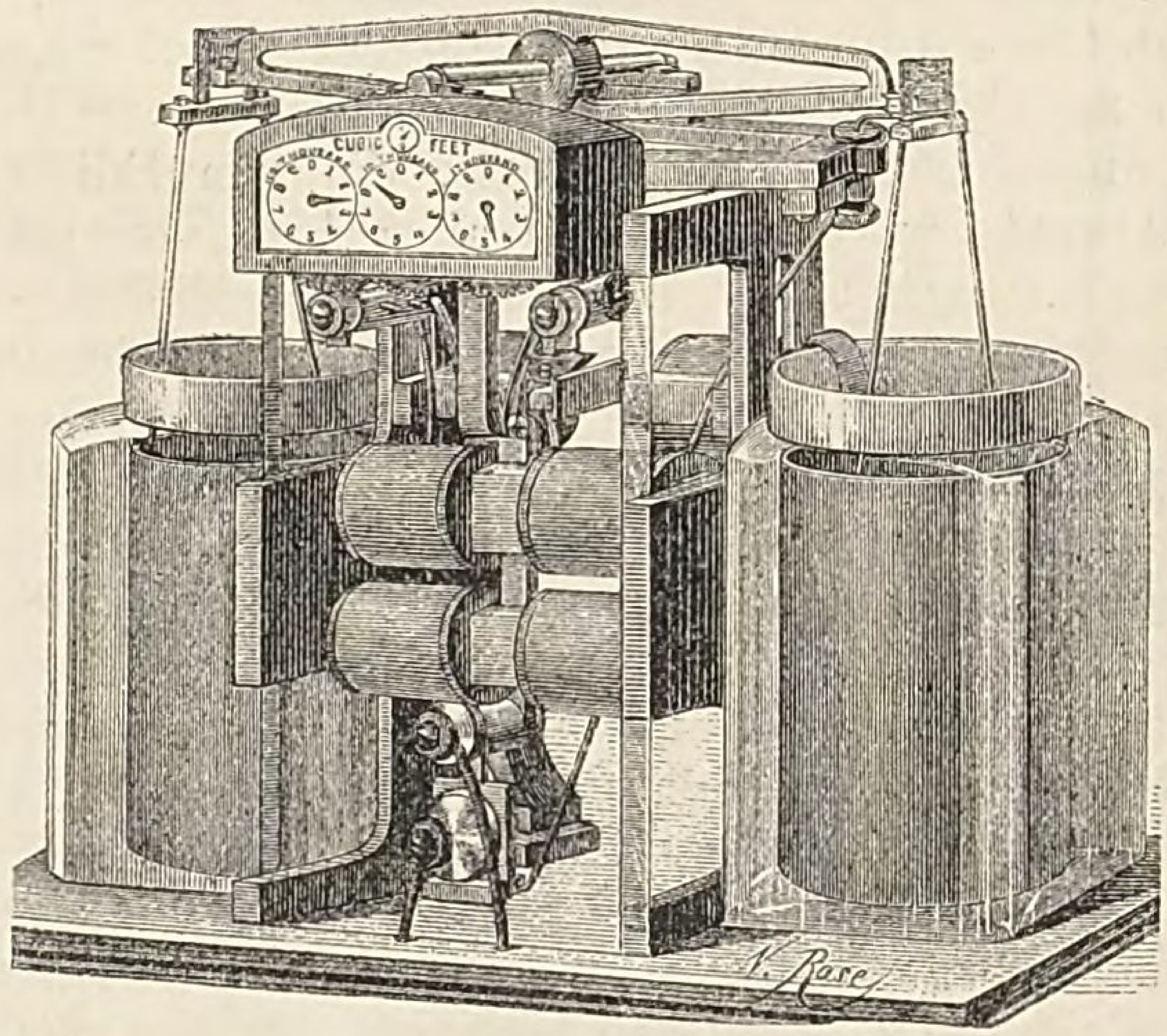
Zwischen der Hauptleitung a a und der Hausleitung b b ist ein kurzes, dünnes Stück Blei eingeschaltet. Sowie der Strom momentan eine zu grosse Stärke bekommt, welche für die Lampen gefährlich sein könnte, schmilzt das Bleistück weg und unterbricht dadurch den Strom. Es erlöschen dann zwar alle Lampen des Hauses, aber sie bleiben intakt und es lässt sich der Bleidraht mit Leichtigkeit ersetzen.

Endlich bringt Edison auch bei der Glühlichtbeleuchtung einen Apparat in jedem Hause an, welcher die verbrauchte Elektricitätsmenge zu messen gestattet. Das Princip desselben ist ein sehr einfaches. Der Hauptstrom geht nämlich durch eine mit schwefelsaurem Zinkoxyd gefüllte Zersetzungszelle, in welche Zinkcylinder eintauchen. Aus der Menge des elektrolytisch abgeschiedenen Zinks, das bei jeder Revision durch Wägen gefunden wird, wird die Menge der benutzten Elektricität gefunden. Bei neueren Construktionen ist das lästige Wägen der Zinkcylinder vermieden. Die Cylinder werden jetzt an einen Wagebalken innerhalb weiterer feststehender Cylinder aus Zink gehängt, wie es Fig. 304 zeigt. Der Strom ist so geführt, dass sich auf der einen Seite das Zink an dem beweglichen, auf der anderen an dem festen Cylinder niederschlägt. Die eine bewegliche Platte zieht also, da sie schwerer wird, den Wagebalken herunter. Die Senkung des Wagebalkens wird durch die Verrückung eines Zeigers an einem Uhrwerk gemessen. Hat diese Zinkplatte ein gewisses Gewicht erreicht, so wird durch eine selbstthätige Vorrichtung der Strom in der Zersetzungszelle umgekehrt, so dass nun die andere Zinkplatte schwerer wird. Der Uhrzeiger aber bewegt sich in demselben Sinne weiter. Ein Blick auf den Stand des Zeigers genügt dann also, um die Menge der verbrauchten Elektricität zu kennen. Diese Menge ist, in einer gewissen Einheit ausgedrückt, gleich dem Gewicht des nieder-

geschlagenen Zinks, also gleich der Verrückung des Uhrzeigers seit der letzten Revision.

Das Edison'sche Beleuchtungssystem hat durchaus den Charakter des bis ins Einzelne Durchdachten und Vollendeten. Und wenn nur

Fig. 304.



die Kostenfrage, wie Edison meint, sich günstig stellt, so ist kaum ein Zweifel, dass das Gas allmählich in öffentlichen und Privatgebäuden durch das schöne und gefahrlose Glühlicht verdrängt werden wird.

Ein sehr wesentlicher Fortschritt in Bezug auf die allgemeine Einführung des Glühlichts ist durch die Erfindung der Compoundschaltung der Dynamomaschinen (S. 240) hervorgebracht worden. Bei jeder Beleuchtungsanlage muss es natürlich gestattet sein, beliebig viele Lampen auslöschen zu können, ohne dass die anderen in ihrer Lichtstärke dadurch beeinflusst werden. Nun ist es zwar bei den grossen Centralstationen von Edison lohnend, eigene Beamte anzustellen, welche die Regulirung der Widerstände besorgen. Für die Beleuchtung einzelner Häuser wäre dies aber eine zu complicirte Einrichtung. Die Compoundmaschinen nun sind durch ihre Construktion im Stande, selbstthätig diese Regulirung vorzunehmen. Wir wissen ja aus S. 266, dass bei dieser Schaltung die Klemmspannung constant bleibt, wie gross oder wie klein auch der äussere Widerstand sei. Besteht also der äussere Widerstand aus parallel geschalteten Glühlampen, so kann man beliebig viele auslöschen, ohne dass bei einer Compoundmaschine die Klemmspannung geändert wird. Nichts anderes wird aber für die Glühlichtbeleuchtung verlangt. Denn wenn die Klemmspannung der Maschine dieselbe bleibt, so behält jede Lampe an ihren Enden dieselbe Potentialdifferenz. Da nun ihr Widerstand auch ungeändert bleibt, so behält sie auch dieselbe Stromstärke, also auch dieselbe Lichtstärke. Es können also beliebig viele Lampen ausgelöscht werden,

ohne dass die Lichtstärke der übrigen dadurch verändert wird. In der That hat man Compoundmaschinen z. B. für 30 Lampen construirt, bei denen man 29 auslöschen konnte, ohne dass die übrig bleibende eine Veränderung ihrer Lichtstärke erlitt.

Durch diese Erfindung ist also dem Glühlicht die Möglichkeit der bequemen Einführung in einzelnen Häusern geboten, während bis dahin nur durch Centralstationen eine Glühlichtanlage zweckmässig betrieben werden zu können schien.

Mit den angeführten Einrichtungen, die von Edison angegeben und ausgebildet sind, werden Lampen aller Art, von Edison, Swan, Lane-Fox u. s. w. betrieben. Alle werden parallel geschaltet, bei allen wird ein Strom von hoher Spannung, aber ziemlich geringer Stärke benutzt. Dagegen trat im Jahr 1883 Bernstein erfolgreich mit einer Lampenconstruktion auf, die die entgegengesetzten Principien enthält. Er construirte eine Lampe, die Bernstein- oder auch Boston-Lampe genannt, welche dazu bestimmt ist, Ströme von erheblicher Intensität aber unbedeutender Spannung zu ertragen. Dem Aeusseren nach ist die Bostonlampe der Edison'schen sehr ähnlich. Auch sie besteht aus einem hufeisenförmig gebogenen Kohlenfaden. Dagegen aber besitzt sie nur einen geringen Widerstand, der bei der einen Sorte ungefähr 18, bei der anderen ungefähr 4 Ohm beträgt. Die Lampen werden hinter einander geschaltet und erhalten die eine Sorte bei einer Potentialdifferenz von 50 Volt 3 Ampère, die anderen bei 25 Volt 6 Ampère. Eine jede Lampe ist normal auf eine Lichtstärke von 60 Kerzen berechnet, wodurch sie zwar nicht für kleine Zimmer, aber für Säle, Corridore, Strassen u. s. w. benützbar ist. Doch lässt sich die Lichtstärke nach Versuchen bei erhöhter Stromstärke bis nahe an 600 Normalkerzen treiben, ohne dass die Lampe zerstört wird. Der Hauptvortheil dieser Lampe besteht in dem geringen Kraftverbrauch für die Lichtstärke. Während die Edisonlampen pro Pferdekraft nur 120—160 Normalkerzen geben, liefern die Bostonlampen pro Pferdekraft an 300 Normalkerzen. Bei der ersten Einführung in der Ausstellung zu Wien erregten die Bostonlampen grosses Erstaunen und grosse Erwartungen, doch sind weitere Erfolge und Fortschritte bisher noch nicht bekannt geworden.

5. Kapitel.

Die elektrische Kraftübertragung.

Die elektrische Beleuchtung war es zwar, welche den Anstoss zu der erfolgreichen Entwickelung der Elektrotechnik gab. Das Bedürfniss nach billigen und starken Strömen führte zu der Construktion der magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen in immer grösserer Vervollkommnung. Bald jedoch ergab sich eine Anwendung dieser starken Ströme zu Zwecken, deren Bedeutung eine viel grössere zu werden verspricht, als sie die elektrische Beleuchtung erlangen kann. Es wurde mit Erfolg versucht, die starken Ströme zur Erzeugung von mechanischer Bewegung, also zur Leistung von Arbeit zu benutzen, und diese Aufgabe ist es, welche als elektrische Kraftübertragung bezeichnet wird.

Eine jede magnetelektrische und dynamoelektrische Maschine lässt sich in doppelter Weise verwenden. Durch Drehung des Induktors vor den Magnetpolen erzeugt man in ihr Induktionsströme und dies ist die ursprüngliche Verwendung der Maschinen. Andererseits aber üben ja die Magnete auf die von Strömen durchflossenen Drähte des Induktors Kräfte aus und unter dem Einfluss dieser Kräfte müssen sich diese Stromleiter bewegen. Wenn man also einen Strom von aussen durch die Drahtwindungen des Induktors und der Magnete schickt, so muss der Induktor sich drehen und zwar in einer ganz bestimmten Richtung, welche abhängt von der Richtung des Stromes in dem Induktor und von der Lage der Magnetpole. Eine jede magnetelektrische oder dynamoelektrische Maschine ist ja im Grunde nichts als eine elektromagnetische Maschine, die man rückwärts dreht. Wenn eine dynamoelektrische Maschine also einen positiven Strom nach der einen Richtung giebt, wenn man sie in bestimmtem Sinne durch Aufwendung von Arbeit dreht, so muss umgekehrt die Maschine, wenn man den positiven Strom von aussen in derselben Richtung in sie hineinsendet, sich im umgekehrten Sinne drehen.

Man hatte schon lange versucht, die elektromagnetischen Motoren zur Leistung von Arbeit zu benutzen. Jacobi in Petersburg brachte eine solche elektromagnetische Maschine (d. h. also eine Maschine zur Erzeugung von Bewegung durch elektrische Ströme) in ein Boot, dessen Rad er mit der Axe des rotirenden Induktors in Verbindung gesetzt

hatte, und liess nun die Maschine durch eine grosse galvanische Batterie treiben. Die Maschine bewegte sich natürlich und trieb das Boot auf der Newa mit mässiger Geschwindigkeit. Aber es war klar, dass eine solche Anwendung der Elektricität zur Leistung von Arbeit nicht vortheilhaft sein konnte, denn es musste ja in den Batterieen Zink verbrannt werden und wir haben auf S. 268 gesehen, dass die gleiche Menge elektrischer Energie, von welcher ja die nutzbare Arbeit abhängt, durch Verbrennung von Zink etwa 13mal so viel Kosten verursacht, als wenn sie durch Verbrennung von Kohlen geliefert wird. Es ist also unbedingt vorzuziehen, ein Boot durch Dampf treiben zu lassen, als durch Elektricität, wenn man diese durch Auflösung von Zink erzeugen muss.

Ganz anders aber stellt sich diese Frage, wenn man die elektrischen Ströme, wie es in den Dynamomaschinen geschieht, durch direkten Aufwand von Arbeit erzeugt. Diese Ströme sind billig und können beliebig stark erhalten werden, so dass es wohl möglich ist, auf diese Weise mit Hülfe der Elektricität ökonomisch Arbeit zu leisten.

Es würden also bei dieser Arbeitsleistung mit Maschinenströmen zuerst durch Aufwendung von Arbeit, z. B. von einer Dampfmaschine, elektrische Ströme in einer Dynamomaschine erzeugt werden; diese würden in eine zweite Dynamomaschine eingeführt werden und dadurch diese in Drehung versetzen. Durch diese Drehung könnte man dann die zweite Maschine Arbeit leisten lassen. Danach scheint aber auch dieses Verfahren gar keinen Vortheil zu haben. Denn man könnte ja durch die Dampfmaschine viel zweckmässiger selbst die gewünschte Arbeit verrichten lassen, als dass man die Dampfmaschine erst Elektricität erzeugen, und diese Elektricität Arbeit leisten lässt. In der That wäre das ein recht unökonomisches Beginnen, wenn nicht auf diese Weise sich zwei Aufgaben lösen liessen, welche sonst nicht in Angriff genommen werden können. Erstens lässt sich ja die Elektricität mit Leichtigkeit auf grosse Entfernungen fortleiten, und man kann also in Folge dessen die beiden Maschinen, die Strom gebende und die Arbeit leistende, beliebig weit aus einander stellen, man kann also die Ströme da erzeugen, wo die Betriebskraft billig ist und kann auf elektrischem Wege Arbeit dort leisten, wo die Betriebskraft theuer ist. Zweitens kann man die elektrischen Ströme ja beliebig zerzweigen, man kann also auch von einer Kraftmaschine aus mittelst Elektricität die Kraft auf beliebig viele Punkte vertheilen, was bei direkter Benutzung der Kraftmaschine nur in speciellen Fällen möglich ist.

Die Arbeitsleistung durch Elektricität ist also eigentlich nichts anderes als eine Uebertragung von Arbeit von einer Stelle zu einer anderen beliebig entfernten, oder zu mehreren andern; im letzteren Falle also eine Uebertragung und Vertheilung von Arbeit.

Eine jede elektrische Arbeitsübertragung erfordert mithin nothwendig eine Reihe von Maschinen. Erstens nämlich die Kraftmaschine, den Motor, als welchen man eine Dampfmaschine, oder eine Gasmaschine nehmen kann. Es kann auch ein durch Wasserkraft oder durch Wind

getriebenes Rad die ursprüngliche Arbeit leisten. Von dieser Kraftmaschine wird die Bewegung auf eine Dynamomaschine übertragen, in welcher die mechanische Arbeit in Elektricität umgewandelt wird. Von dieser Dynamomaschine, die man die primäre Maschine nennt, werden dann die elektrischen Ströme durch Drähte fortgeleitet bis zu einer zweiten Dynamomaschine, der sekundären Maschine, welche durch diese elektrischen Ströme in Drehung kommt und Arbeit leisten kann. Man braucht also mindestens einen Motor, eine primäre und eine sekundäre Dynamomaschine zu jeder elektrischen Kraftübertragung. Statt Dynamomaschinen können natürlich auch magnetelektrische Maschinen für gleichgerichtete Ströme benutzt werden.

Die zweite Maschine, welche durch den Strom der ersten getrieben wird, kann nun wieder Arbeit leisten. Wenn man ihre Axe durch ein Rad oder durch eine Schraube oder auf irgend eine andere Weise mit der Welle einer Maschine in Verbindung setzt, die man treiben lassen will, so wird diese gedreht und auf diese Weise leistet die sekundäre Maschine Arbeit. Sie thut es dadurch, dass ihr von der primären Maschine elektrische Energie zugeführt wurde.

Die hauptsächlichste Anwendbarkeit dieser elektrischen Kraftübertragung besteht darin, dass eine Kraftquelle dadurch an einer Stelle Arbeit leisten kann, von der sie weit entfernt ist. Es dürfte also diese elektrische Uebertragung der Arbeit hauptsächlich dazu dienen, um Wasserkräfte an entfernten Stellen Arbeit verrichten zu lassen. Die Energie, welche von Wasserfällen und überhaupt von fliessendem Wasser zum Treiben von Maschinen benutzt werden kann, wird ja von der Natur in unerschöpflicher Fülle direkt geboten, und die Benutzung derselben erfordert keine viel grösseren Kosten als die der ersten Einrichtung. Wenn also auch bei der elektrischen Kraftübertragung 50, 60 Procent der Arbeit verloren gehen, wie wir sehen werden, so kann es doch in manchen Fällen von grossem Vortheil sein, diese direkt dargebotenen natürlichen Kräfte zur Arbeitsleistung zu verwenden, die man sonst ganz unbenutzt lassen muss.

Ein anderes Gebiet der Anwendungen der elektrischen Kraftübertragung ist folgendes. Alle unsere Maschinen werden ja hauptsächlich durch Verbrennung von Kohlen getrieben und es müssen die Kohlen aus den Bergwerken an die betreffenden Stellen geschafft werden, wo sie verwendet werden sollen. Falls die Kosten dieses Transportes grösser sind, als der Verlust, den man an Energie durch die elektrische Kraftübertragung erleidet, so wird es sich viel mehr empfehlen, die Kohlen, anstatt sie zu transportiren, an den Bergwerken selbst in grossen Dampfmaschinen zu verbrennen und die Kraft auf elektrischem Wege dorthin zu leiten, wo man sie braucht.

Endlich wird es in vielen Fällen auch vortheilhaft sein, auf elektrischem Wege Kraft zu übertragen, wenn es gilt, eine Reihe von weit aus einander liegenden kleinen Maschinen zu betreiben. Erfahrungsgemäss stellt sich der Verbrauch an Kohlen für kleine Dampfmaschinen von ein Paar Pferdekräften relativ ziemlich doppelt so hoch, als für grosse Dampfmaschinen schon von 50—100 Pferdekräften. Wenn man also statt einer Reihe von kleinen Dampfmotoren eine grosse auf-

stellt und ihre Arbeit auf elektrischem Wege an verschiedene Orte vertheilt, so kann man an Unterhaltungs- und Einrichtungskosten sparen. Dies sind einige Fälle, in denen die elektrische Kraftübertragung mit Vortheil eintreten kann.

Es fragt sich jedoch zuerst, welches speciell die Vorgänge bei der elektrischen Kraftübertragung sind, und auf welche Ausbeute man dabei rechnen kann.

Wenn die primäre Maschine von einem Motor getrieben wird und in dem ganzen äusseren Stromkreis sich keine andere Maschine befindet, so hängt die Stromstärke im ganzen Kreise nur ab von der elektromotorischen Kraft der Maschine und dem gesammten Widerstande, sowohl dem inneren der Maschine als dem äusseren des Stromkreises und zwar nach dem Ohm'schen Gesetz

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft der Maschine}}{\text{Gesammtwiderstand}}.$$

Dass die elektromotorische Kraft bei Dynamomaschinen auch wieder von der Stromstärke abhängt, weil ja die Magnete um so stärker werden, je grösser die Stromstärke ist, kommt dabei nicht in Betracht. Bei bestimmter Tourenzahl und bestimmten Widerstand herrscht eine bestimmte elektromotorische Kraft und eine bestimmte Stromstärke. Die elektromotorische Kraft der Maschine wird, abgesehen von anderen Einflüssen, um so grösser, je grösser die Geschwindigkeit der Maschine ist, weil dann die Dauer der einzelnen Induktionsströme eine um so geringere ist.

Befindet sich nun eine zweite Dynamomaschine in dem Stromkreis und wird diese durch den Strom der ersten in Bewegung gesetzt, so entsteht in dem Induktor derselben ja ebenfalls eine elektromotorische Kraft, welche der der ersten Maschine, wie wir wissen, entgegengesetzt ist. Es besteht also jetzt der Gesammtwiderstand des ganzen Systems aus dem inneren Widerstand der beiden Maschinen und aus dem Widerstand der Verbindungsdrähte. Und die gesammte elektromotorische Kraft, die im Stromkreise wirkt, ist die Differenz der elektromotorischen Kräfte beider Maschinen, so dass wir für die Stromstärke jetzt den Ausdruck haben

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Differenz der elektromotorischen Kräfte}}{\text{Gesammtwiderstand}}.$$

Wenn also der Gesammtwiderstand des Stromkreises jetzt der gleiche ist, wie früher, so ist doch die Stromstärke jetzt eine geringere, wie in dem Fall, wo keine sekundäre Maschine vorhanden war, weil eben die elektromotorische Kraft der zweiten Maschine entgegenwirkt. Die elektromotorische Kraft jeder Maschine hängt ausser von dem gesammten Widerstand und ihrer sonstigen Einrichtung nur ab von der Geschwindigkeit, mit welcher der Induktor rotirt. Sind also die beiden Dynamomaschinen gleich gebaut, so hängt die Stromstärke nur ab von der Differenz der Geschwindigkeit beider Maschinen und dem Gesammtwiderstand. Daraus ergiebt sich ein merkwürdiges Resultat. Wenn beide Maschinen gleich schnell rotiren, so muss die Stromstärke im gesammten Stromkreis gleich Null sein. Die beiden

Maschinen könnten aber blos dann gleich schnell rotiren, wenn in beiden keine Reibungswiderstände zu überwinden wären. Dann hätte man also den Fall, dass von dem Motor die primäre Maschine getrieben wird, dass durch den Strom, der in ihr erzeugt wird, die sekundäre Maschine in Bewegung kommt, dass diese immer rascher rotirt, wodurch die Stromstärke im ganzen Stromkreis immer mehr abnimmt und dass sie schliesslich so rasch rotirt, wie die erste, wobei dann durch die Leitung kein Strom fliesst. In diesem Fall wird weder an der primären Maschine Arbeit geleistet, noch von der sekundären Maschine Arbeit abgegeben, in diesem Falle findet also gar keine Uebertragung von Kraft statt. Dieser Fall ist natürlich nicht zu realisiren, obwohl er mit grosser Annäherung praktisch erreicht werden kann. Wenn man aber die zweite Maschine Arbeit leisten lässt, wenn man sie z. B. eine Dreschmaschine treiben lässt, so verringert sich ihre Geschwindigkeit in dem Masse, als sie Arbeit leistet, wenn nicht die Geschwindigkeit der primären Maschine erhöht wird. Es nimmt also dann auch die elektromotorische Kraft der zweiten Maschine ab, während die Stromstärke im ganzen Kreise vergrössert wird.

Die gesammte Arbeit, die vom Motor in jeder Sekunde auf die erste Maschine übertragen wird, wird dazu benutzt, um in dieser eine elektromotorische Kraft hervorzubringen und einen Strom durch den Kreis zu treiben. Diese Arbeit (die also nicht zur Ueberwindung der Reibungswiderstände dient) ist nach dem, was wir auf S. 102 und 264 gesehen haben, gleich der elektromotorischen Kraft der primären Maschine, multiplicirt mit der Stromstärke, die im Kreise herrscht.

Wenn die zweite Maschine Arbeit leistet, so ist die Grösse der von ihr in jeder Sekunde geleisteten Arbeit gleich ihrer elektromotorischen Kraft multiplicirt mit der Stromstärke, die im ganzen Kreise herrscht, und welche ja für beide Maschinen dieselbe ist. Die Arbeit, die der Motor aufgewendet hat, wird also zum Theil dazu verwendet, um die zweite Maschine Arbeit leisten zu lassen, zum Theil wird sie in Wärme umgesetzt, welche durch den Strom im Stromkreis erzeugt wird. Mit welcher Geschwindigkeit muss man nun die zweite Maschine rotiren lassen, um bei einer gegebenen Tourenzahl der ersten Maschine möglichst viel Arbeit zu übertragen, d. h. möglichst viel Pferdekräfte von der zweiten Maschine zu erhalten? Die Antwort darauf lässt sich durch eine mathematische Untersuchung geben und sie lautet, dass man bei zwei ganz gleich gebauten, vollkommenen Dynamomaschinen die sekundäre nur mit $^1/_3$ Geschwindigkeit der ersten rotiren lassen muss In diesem Falle werden zwar von den beiden Maschinen möglichst viel Pferdekräfte übertragen, aber das Verhältniss der abgegebenen zur aufgewendeten Arbeit ist blos $33^1/_3$ %. Dieses Resultat, das auf den ersten Blick erschreckend aussieht, hat aber gar keine praktische Bedeutung. Macht nämlich die sekundäre Maschine noch weniger Umdrehungen, so kann sie noch weniger Arbeit leisten, während die primäre Maschine mehr Arbeit absorbiren kann. Macht dagegen die sekundäre Maschine *mehr* Umdrehungen in der Minute, so wird der Strom in der ganzen Leitung schwächer, in Folge dessen nimmt also sowohl der Effekt der zweiten Maschine *als auch der der ersten*

Maschine ab. Die primäre Maschine kann dann also thatsächlich gar nicht so viel Arbeit aufnehmen, wie früher, und in Folge dessen kann auch die sekundäre Maschine nicht so viel abgeben. Das Verhältniss der abgegebenen zur aufgewendeten Arbeit aber wird ein günstigeres und gerade dieses Verhältniss, welches man den Nutzeffekt der elektrischen Kraftübertragung nennt, ist für die Praxis das Wichtigste. Während man im ersteren Falle z. B. durch zwei Maschinen 50 Pferdekräfte übertragen konnte, wobei aber die erste Maschine von 150 Pferdekräften getrieben werden musste, kann man bei geringerer Geschwindigkeitsdifferenz der Maschinen vielleicht blos 16 Pferdekräfte übertragen, aber mit 80 % Nutzeffekt. Dann kann eben die primäre Maschine bei der bestimmten Tourenzahl nicht mehr als 20 Pferdekräfte aufnehmen, aber von diesen giebt sie 16 durch die zweite Maschine wieder ab. Will man nun bei diesem Nutzeffekt doch 50 Pferdekräfte von der zweiten Maschine erhalten, so muss man die Tourenzahl beider Maschinen in demselben Verhältniss vergrössern.

Der Nutzeffekt der elektrischen Kraftübertragung ist also nach dem Gesagten einfach gleich dem Verhältniss der Tourenzahlen, also auch gleich dem Verhältniss der elektromotorischen Kräfte der beiden Maschinen. Man müsste also von zwei gleichgebauten Maschinen so viel Procent der aufgewendeten Arbeit übertragen können, als die elektromotorische Kraft der sekundären Maschine procentisch in der der ersten Maschine enthalten ist. Nehmen wir z. B. an, wie es bei Versuchen von Fröhlich der Fall war, dass bei einer bestimmten Kraftübertragung die elektromotorische Kraft der primären Maschine zu 170 Volt bestimmt wurde, während die der sekundären zu 132 Volt bestimmt wurde, so müsste der Nutzeffekt der Kraftübertragung sein $\frac{132}{170} = 77,6\,\%$. Wenn also, wie es dabei der Fall war, die sekundäre Maschine einen Effekt von 7,77 Pferdekräften hatte, d. h. in jeder Sekunde $7,77 \times 75$ Kilogrammeter Arbeit leistete, so hätte von der primären Maschine eine Arbeit von

$$\frac{7,77 \times 100 \times 75}{77,6} = 10 \times 75 \text{ Kilogrammeter pro Sekunde}$$

consumirt werden müssen, d. h. die erste Maschine hätte mit 10 Pferdekräften getrieben werden können. In der That aber ergab sich bei diesem Versuch, dass die erste Maschine mit 13,7 Pferdekräften getrieben werden musste, dass also der Nutzeffekt ein viel geringerer war, als er aus den elektromotorischen Kräften berechnet wurde. In Wirklichkeit betrug der Nutzeffekt also nur

$$\frac{7,77}{13,7} = 51\,\%$$

statt 77,6 %.

Ebenso ergab sich bei einem anderen Versuch die elektromotorische Kraft der ersten Maschine zu 93,2 Volt, die der zweiten zu 59,7 Volt, so dass der Nutzeffekt der Kraftübertragung hätte sein müssen

$$\frac{59,7}{93,1} = 64\,\%.$$

Auf die erste Maschine wirkten dabei 3,93 Pferdekräfte, so dass der Effekt der zweiten Maschine für Arbeitsleistung hätte sein müssen 2,5 Pferdekräfte. In Wirklichkeit wurden dabei blos 1,49 Pferdekräfte übertragen, so dass also der wirkliche Nutzeffekt viel geringer war, nämlich

$$\frac{1,49}{3,93} = 38\ \%.$$

Diese Zahlen zeigen schon, dass bei der Kraftübertragung viel mehr Arbeit verloren geht, als man hätte erwarten sollen. Es beruht dies auf mehreren Gründen.

Wir haben angenommen, dass die Arbeit, welche vom Motor auf die erste Maschine übertragen wird, nur zu zwei Dingen verwendet wird: erstens dazu, um durch die sekundäre Maschine Arbeit zu leisten, und zweitens dazu, um in dem Stromkreis Wärme zu erzeugen. Aber damit ist die Verwendung der eingeführten Arbeit nicht erschöpft. In den beiden Maschinen entstehen durch die Rotation der Ströme vor den Eisenkernen der Magnete in diesen die Foucault'schen Ströme, und diese setzen sich selbst wieder in Wärme um. Es wird also ausserdem noch die aufgewendete Arbeit zum Theil zur Erwärmung der Eisenmassen in den Maschinen verbraucht und dieser Theil der Arbeit wird der durch die zweite Maschine nutzbar zu machenden entzogen. Daraus folgt, dass man weniger Arbeit übertragen kann, als dem Verhältniss der elektromotorischen Kräfte der beiden Maschinen entspricht. In der That zeigt auch eine Berechnung dieser Effekte, dass die Foucault'schen Ströme einen so grossen Theil der aufgewendeten Arbeit absorbiren, dass man bei den bisher gebauten Maschinen nur 50 bis höchstens 60 % der aufgewendeten Arbeit übertragen kann. Es wird also bei der Construktion von Maschinen für elektrische Kraftübertragung wesentlich darauf ankommen, diese Foucault'schen Ströme und den durch sie hervorgerufenen Arbeitsverlust zu beseitigen.

Sehen wir aber von diesem Mangel der Maschinen ab, so entsteht nun die wesentliche Frage, welchen Einfluss hat die Entfernung der beiden Maschinen auf den Nutzeffekt der Kraftübertragung. Je weiter die Maschinen von einander stehen, desto länger müssen die Drähte sein, die beide Maschinen mit einander verbinden. Die Leitungsdrähte werden durch den Strom erwärmt und die Erwärmung ist direkt proportional ihrem Widerstand. Wenn man also den Querschnitt der Leitungsdrähte nicht verändert, so müsste bei der doppelten Entfernung der beiden Maschinen auch die doppelte Wärmemenge in den Drähten erzeugt werden, d. h. die nutzbar zu machende Arbeit würde unter sonst gleichen Umständen geringer sein.

Dies könnte man vermeiden, indem man den Leitungsdrähten in dem zweiten Fall auch den doppelten Querschnitt giebt. Denn dadurch bleibt ja der Widerstand der gesammten Leitung (von doppelter Länge und doppeltem Querschnitt) ungeändert. Aber dieses Hülfsmittel ist praktisch nicht anwendbar, weil man dann bei einigermassen grossen Entfernungen sehr dicke Kupferstäbe zur Leitung nehmen müsste, welche die Kosten der Anlage überaus vertheuern würden.

Die in den Leitungsdrähten entwickelte Wärme hängt aber nicht blos von ihrem Widerstande ab, sondern auch wesentlich von der Stärke des Stromes, der durch sie fliesst und zwar, wie wir aus dem Joule'schen Gesetz wissen, wächst diese Wärme wie das Quadrat der Stromstärke. Man kann deshalb diese Wärme in den Leitungsdrähten trotz des grösseren Widerstandes dieselbe bleiben lassen, wenn man die Stromintensität abnehmen lässt. Ist die Stromstärke bei demselben Widerstand in einem Falle blos die Hälfte von der in einem andern Falle, so ist die in den Leitungsdrähten entwickelte Wärme blos der vierte Theil von der im ersten Falle.

Vergrössert man also die Entfernung zwischen beiden Maschinen und dadurch den Widerstand der Leitung, so kann man durch Verringerung der Stromstärke es bewirken, dass die Wärme in den Leitungen dieselbe bleibt, wie früher, dass man also auf grössere Entfernung dieselbe Arbeitsmenge überträgt wie früher. Ist die Entfernung der beiden Maschinen z. B. um das 12,5fache gewachsen, so dass der Widerstand der beiden Leitungsdrähte der 25fache geworden ist, so braucht man nur zu bewirken, dass die Stromstärke $^1/_5$ der früheren ist, um dieselbe Wärme in den Leitungen, also auch denselben Arbeitsverlust durch Erwärmung zu erzeugen. Es kommt also nur darauf an, die Stromstärke bei gleichem Arbeitsaufwand zu verringern.

Die Stromstärke nun, die in der ganzen Leitung herrscht, hängt ab von dem Gesammtwiderstand und der Differenz der elektromotorischen Kräfte der beiden Maschinen. Um die Stromstärke zu verkleinern, muss man also die Differenz der elektromotorischen Kräfte verkleinern, und dabei doch dafür sorgen, dass man eine grosse Arbeit übertragen könne. Daraus folgt, dass es nothwendig ist, um auf grosse Entfernungen Arbeit mit demselben Nutzeffekt zu übertragen, die elektromotorischen Kräfte der beiden Maschinen sehr gross, aber ihre Differenz klein zu machen.

Die gesammte Arbeit pro Sekunde ist bei jeder Maschine

Elektromotorische Kraft $\times$ Stromintensität.

Will man also bei kleiner Stromintensität doch viel Arbeit übertragen, so muss man die elektromotorische Kraft der Maschine vergrössern. Dies lässt sich nun auf zweierlei Weise bewirken. Erstens dadurch, dass man die Anzahl der Drahtwindungen auf dem Induktor vergrössert und zweitens dadurch, dass man die Rotationsgeschwindigkeit der Maschine erhöht. Es lässt sich also auch mit den gewöhnlichen Telegraphendrähten Arbeit auf grosse Entfernung mit erheblichem Nutzeffekt übertragen, wenn man nur bewirkt, dass beide Maschinen sehr hohe elektromotorische Kraft und grosse Geschwindigkeit haben. Deswegen gehört die Zukunft der Kraftübertragung, wie es scheint, den grossen Dynamomaschinen, die so gebaut sind, dass sie sehr rasche Umdrehung aushalten und sehr hohe elektromotorische Kräfte erzeugen können. In diesem Sinne wird auch jetzt praktisch an der Vervollkommnung der elektrischen Kraftübertragung gearbeitet.

Mit der weiteren Ausbildung der Kraftübertragung auf grössere Entfernungen beschäftigt sich insbesondere der französische Ingenieur Marcel Deprez. Er ist es, welcher auf Grund theoretischer Ueber-

legungen unentwegt die Ansicht vertheidigt hat, dass durch passende Construktion der Maschinen man auf jede Entfernung hin Arbeit von beträchtlicher Grösse mit demselben Nutzeffekt übertragen kann und die Versuche, die er bisher angestellt hat, haben fortdauernd günstigere Resultate ergeben. So übertrug er zuerst in München 0,38 Pferdekraft mit 21 % Nutzeffekt auf 50 Kilometer, dann in Paris 4 Pferdekräfte mit über 40 % Nutzeffekt auf 8,5 Kilometer und zuletzt in Grenoble über 6 Pferdekräfte mit fast 50 % Nutzeffekt auf 14 Kilometer und zwar stets auf gewöhnlichen Telegraphendrähten. Die einzige Forderung, die Deprez für diese Arbeitsleistung auf weite Entfernungen an die Maschinen stellt, ist die, dass sie sehr hohe elektromotorische Kraft erzeugen. Er umgiebt daher den Ring der Maschinen mit einer sehr grossen Zahl von Windungen eines feinen Drahtes, da ja die elektromotorische Kraft mit der Anzahl der Windungen zunimmt. So hatte bei den Münchener Versuchen die primäre Maschine eine elektromotorische Kraft von 1350 Volt, die sekundäre eine solche von 840 Volt und diese Spannungen sind noch nicht die höchsten, zu welchen Deprez steigen will. Es können kaum Zweifel bestehen, dass auf dem von Deprez eingeschlagenen Wege die Lösung des Problems der Kraftübertragung auf weite Entfernungen erfolgen wird.

Bei den Anwendungen, die bisher von der elektrischen Kraftübertragung gemacht wurden, kamen jedoch diese Fragen noch nicht zur Entscheidung. Es handelte sich dabei nur um geringe Entfernungen, auf welche die Kraft fortgeleitet wurde, resp. es war der Widerstand der Drahtleitung nur ein kleiner.

So bedient sich z. B. eine chemische Fabrik von Shaw in Greenwich der Elektricität, um die Kraft eines Wasserfalls zu benutzen. Der Wasserfall ist 137 Meter von der Fabrik entfernt. Um seine Kraft zum Betriebe der Maschinen in der Fabrik verwenden zu können, lässt man durch ihn eine Turbine in Bewegung setzen, welche ihrerseits eine Siemens'sche Dynamomaschine treibt. Von dieser gehen zwei Kupferdrähte bis zur Fabrik, in welcher eine zweite Siemens'sche Maschine steht und mit der Axe dieser sind durch Riemen eine Kreissäge, eine Drehbank und eine Bohrmaschine verbunden, welche also indirekt durch die Kraft des Wassers in Bewegung kommen. Auf andere Weise hätte sich nur schwer die Kraft des Wasserfalls 137 Meter von seinem Orte benutzen lassen können. Doch ist der Fall überhaupt ein seltener, dass eine Fabrik so nahe an fliessendem Wasser liegt und doch nicht nahe genug, um direkt die Kraft desselben anwenden zu können. Wenn jedoch die elektrische Kraftübertragung erst auf weitere Entfernungen ohne grosse Verluste möglich sein wird, dann wird es gerade die Ausnutzung der Wasserkräfte sein, welche für die Technik von höchster Bedeutung werden wird. Auf der elektrischen Ausstellung in München wurde bereits auf elektrischem Wege die Kraft eines fünf Kilometer von München entfernten Wassers durch zwei Schuckert'sche Maschinen nach München übertragen, allerdings auf dicken Kupferdrähten, wie sie für die Praxis nicht anwendbar sind.

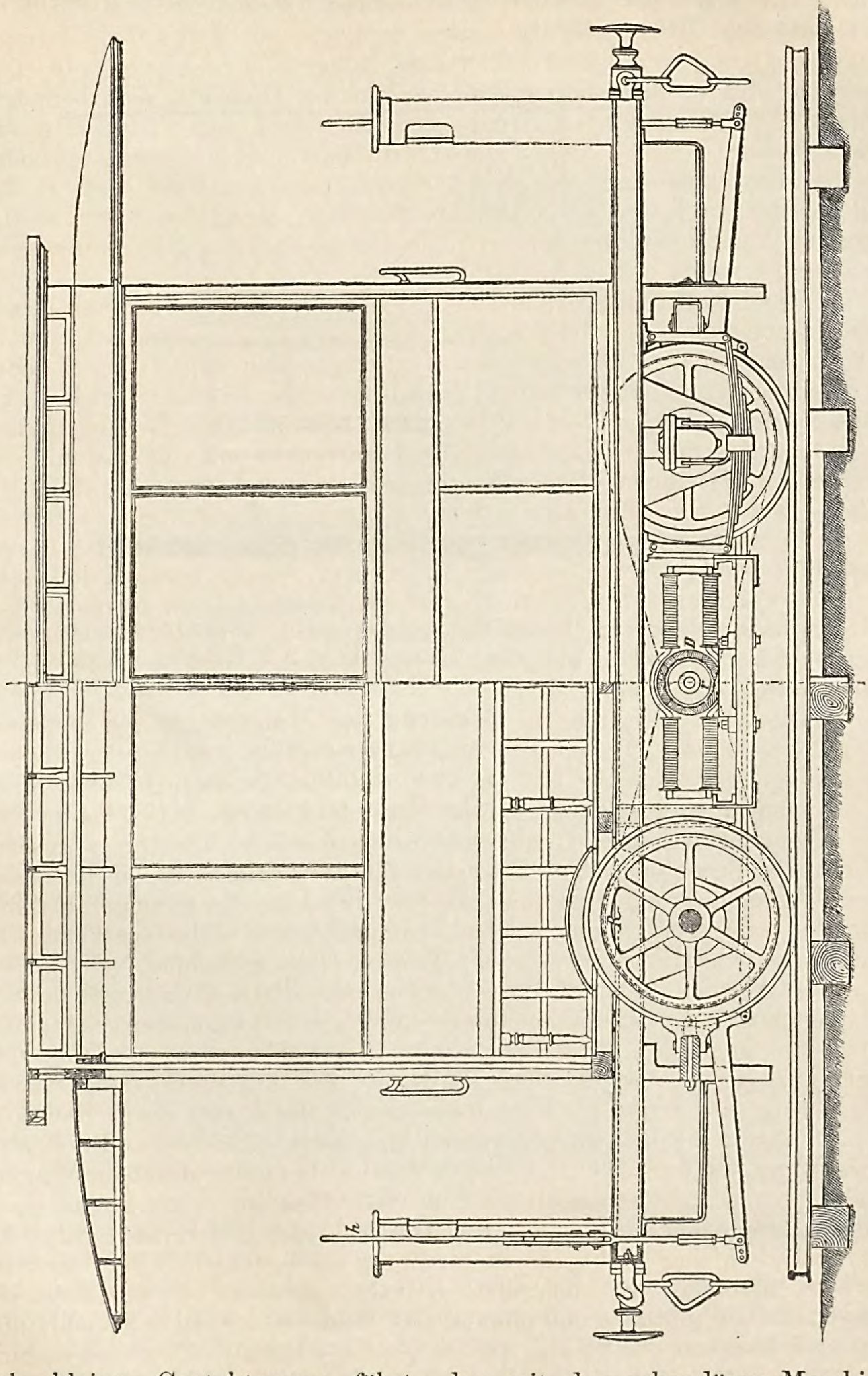
Ein Fall, der häufig vorkommt, ist der, dass von einer feststehenden Dampfmaschine eine Menge von Maschinen getrieben werden sollen,

die ziemlich weit von ihr entfernt sind. Dann wird die Uebertragung durch Riemen eine ziemlich umständliche. So steht z. B. in dem Etablissement à la belle Jardinière in Paris im Keller eine Dampfmaschine, und von dieser sollen eine Menge Nähmaschinen getrieben werden, die in den oberen Stockwerken des Gebäudes sich befinden. Diese Uebertragung der Arbeit geschieht dann am einfachsten auf elektrischem Wege. Neben der Dampfmaschine steht eine primäre Dynamomaschine und von dieser führen nur zwei Drähte bis in das obere Stockwerk, wo die sekundäre Maschine durch den Strom in Bewegung kommt und durch eine Welle, die sie dreht, alle Nähmaschinen in Betrieb setzt.

Handelte es sich bei diesen Anwendungen der elektrischen Kraftübertragung nur um die Leistung einer Arbeit an einem bestimmten Orte, der von dem Orte, wo die Kraftquelle sich befindet, mehr oder minder entfernt ist, so haben praktisch zuerst Siemens & Halske eine andere, ausserordentlich wichtige Anwendung der elektrischen Kraftübertragung gezeigt, nämlich zur Fortbewegung von Lasten. Die sekundäre Dynamomaschine kommt ja durch den Strom in Rotation. Man braucht also ihre Axe nur mit Rädern in Verbindung zu setzen, die sich fortbewegen können, um dadurch diese und die Dynamomaschine selbst fortzubewegen. Auf diesem Princip beruhen die elektrischen Eisenbahnen von Siemens & Halske, deren erste auf der Gewerbeausstellung in Berlin hergestellt wurde und die jetzt permanent bei Berlin und in einigen anderen deutschen und ausserdeutschen Ortschaften eingerichtet sind.

Die elektrische Eisenbahn besteht aus einem Wagen, in welchem sich die sekundäre Dynamomaschine befindet, deren Axe mit den Rädern des Wagens verbunden ist. In Fig. 305 ist ein solcher elektrischer Eisenbahnwagen gezeichnet. In der Mitte des Untergestells befindet sich die Dynamomaschine D, deren Axe r, wenn sie in Bewegung versetzt wird, ihre Bewegung durch Riemen, Seile oder Zahnräder auf die Räder des Wagens überträgt. In diese Maschine wird ein Strom eingeführt, der von der primären Dynamomaschine kommt. Diese selbst steht am Anfangspunkt der Bahn neben einer grossen Dampfmaschine, von der sie ihre Kraft erhält. Der Strom von der primären Maschine wurde bei der ersten elektrischen Eisenbahnanlage durch die Schienen der sekundären Maschine zugeführt, und zwar waren drei Schienen vorhanden. Auf beiden äusseren bewegten sich die Räder, die mittlere diente allein zur Zuführung des Stromes. Von dieser wurde der Strom durch Rollen in die Dynamomaschine eingeführt und ging dann, nachdem er die Drähte ihres Rings und ihrer Elektromagnete durchlaufen hatte, durch die Wagenräder zu den äusseren Schienen und durch diese zur primären Maschine zurück. Bei neueren Anlagen auf freiem Felde ziehen es Siemens & Halske vor, die Schienen nicht zur Stromleitung zu benutzen. Bei feuchtem Wetter nämlich und namentlich wenn Schnee zwischen den Schienen liegt, sind die mittlere und die äusseren Schienen leitend verbunden und es wird dadurch der Strom, der durch die sekundäre Dynamomaschine geht, zu sehr geschwächt. Deshalb lassen sie jetzt den Strom durch einen neben den Schienen aufgehängten Draht fliessen, auf welchem

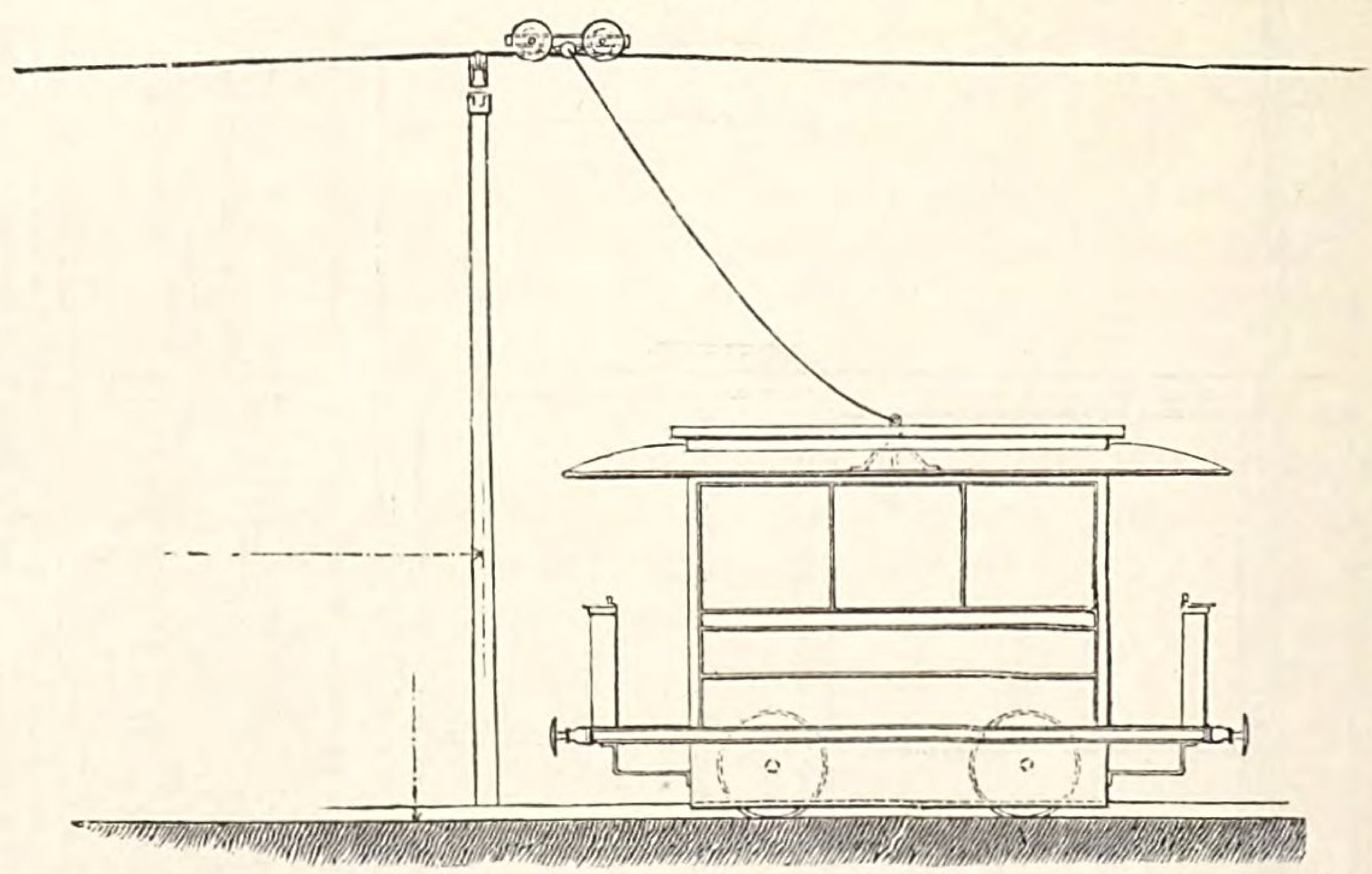
Fig. 305.



ein kleiner Contaktwagen fährt, der mit der sekundären Maschine leitend verbunden ist. Fig. 306 und 307 zeigen einen solchen Wagen

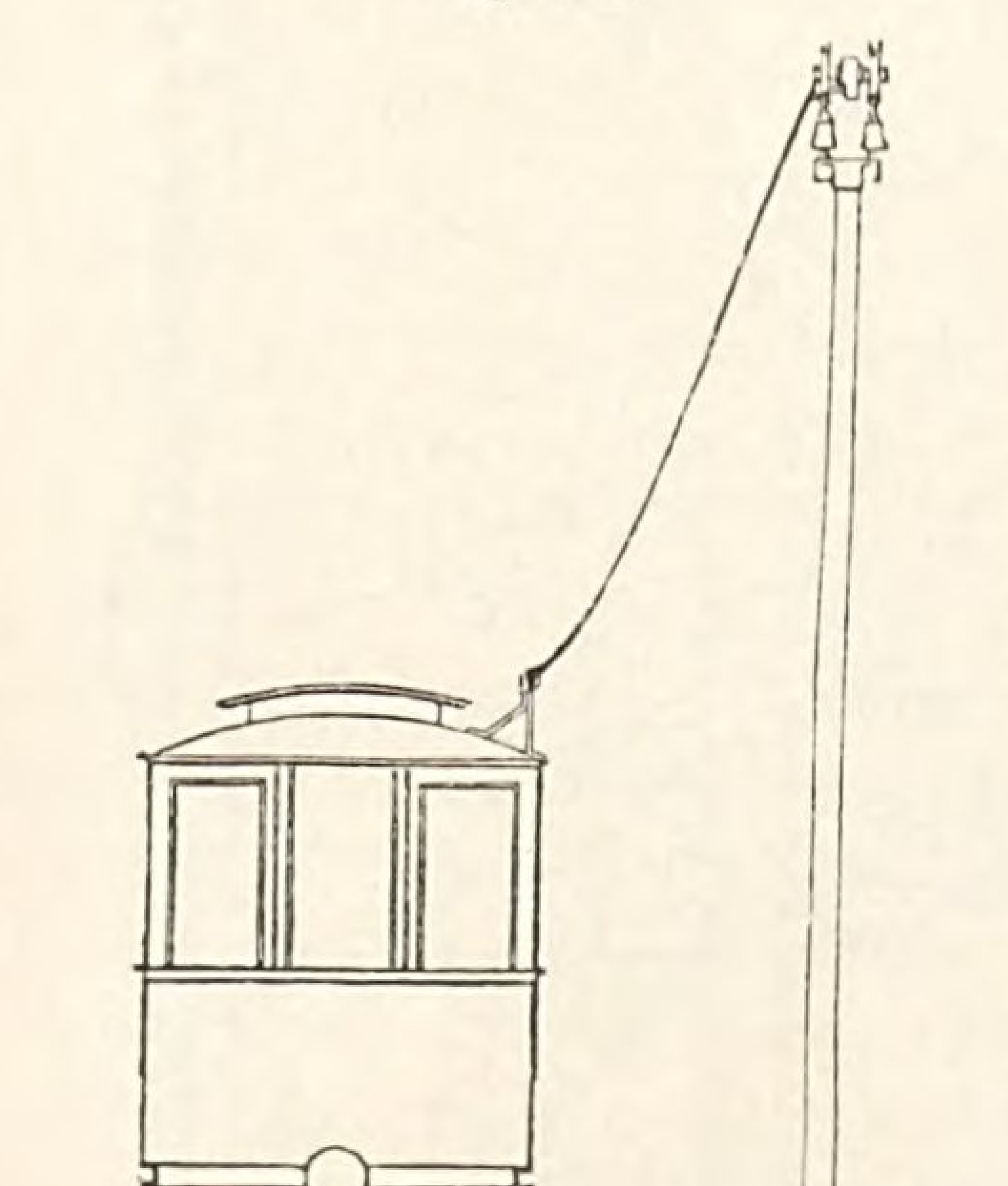
im Längsschnitt und Querschnitt. Dieser Contaktwagen ist ganz leicht und wird durch die elektrische Lokomotive mitgeschleppt, indem er ihr stets den Strom zuführt.

Fig. 306.



Die Eisenbahn in Lichterfelde, die erste definitiv eingerichtete elektrische Eisenbahn, hat eine Länge von 2,6 Kilometer und wird mit einer Geschwindigkeit von 20 Kilometer in der Stunde bei voller Belastung des Wagens mit 26 Personen befahren, sie könnte jedoch die doppelte Geschwindigkeit erreichen. Von den mehrfachen neu angelegten oder projektirten elektrischen Eisenbahnen soll hier nur die Bahn in den Steinkohlengruben von Zaukerode bei Dresden erwähnt werden. Die Bahn geht durch einen Tunnel von 700 Meter Länge und dient speciell zur Förderung von Steinkohlen. Die Lokomotive führt 10 Wagen mit 8 Tonnen Gewicht bei einer Geschwindigkeit von 3 Meter in der Sekunde. Der Strom wird auch hier durch einen Contaktwagen zugeleitet, welcher an der Decke des Tunnels auf zwei Eisenschienen läuft, wie es Fig. 308 darstellt.

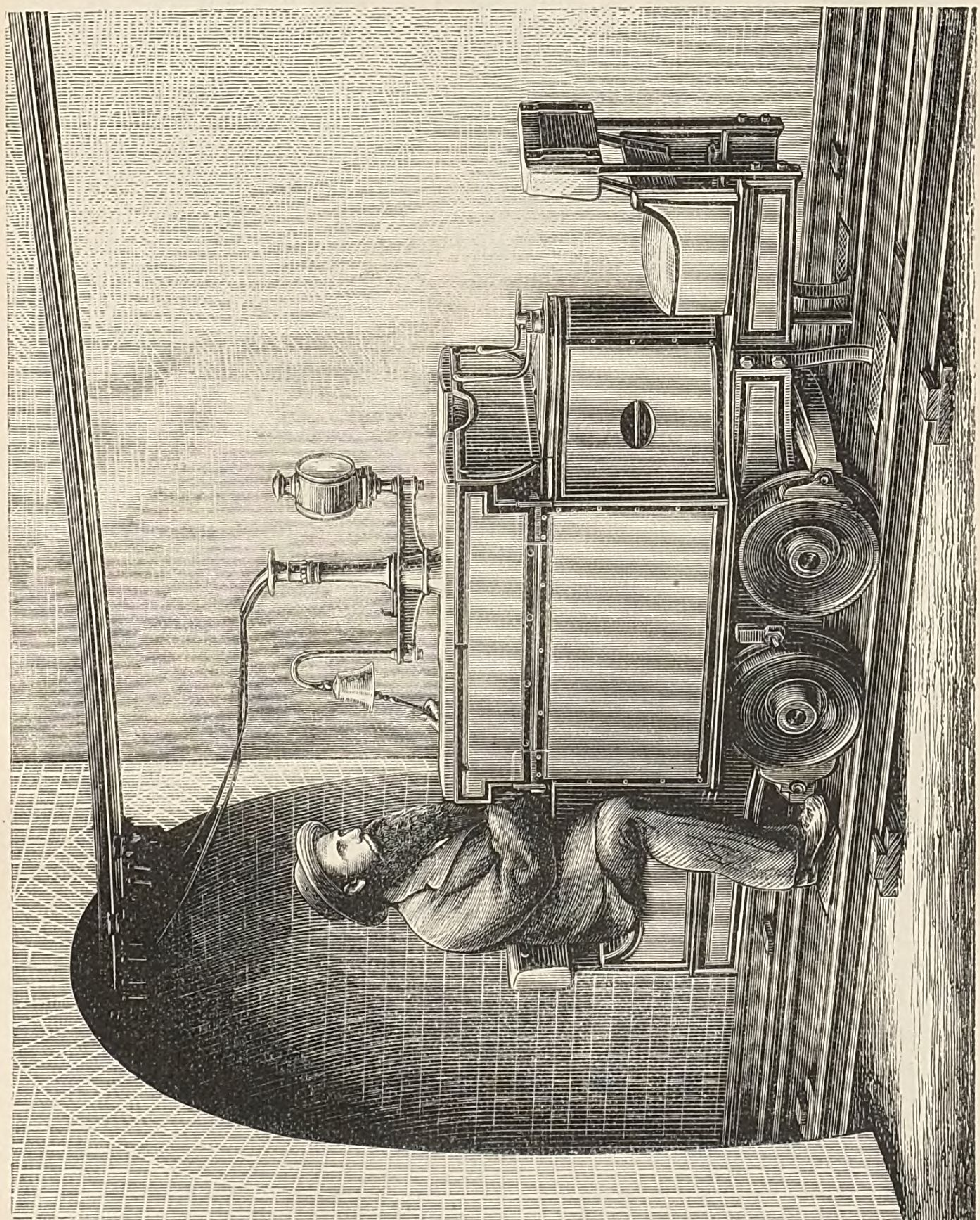
Fig. 307.



Die auf der Hand liegenden Vorzüge einer solchen elektrischen Eisenbahn, welche allerdings nur für kurze Strecken geeignet sein dürfte, bestehen in der geringen Abnutzung der Schienen, weil ja die schwere Dampflokomotive wegfällt, welche die Schienen hauptsächlich verbraucht, ferner darin, dass bei einer stehenden Dampfmaschine der Gebrauch an Verbrennungsmaterial bei weitem geringer ist, als bei einer

Lokomotive. Dazu kommen aber noch eine Reihe anderer Vorzüge. Mit den Dampfeisenbahnen kann man nicht zu hohe Steigungen über-

Fig. 308.



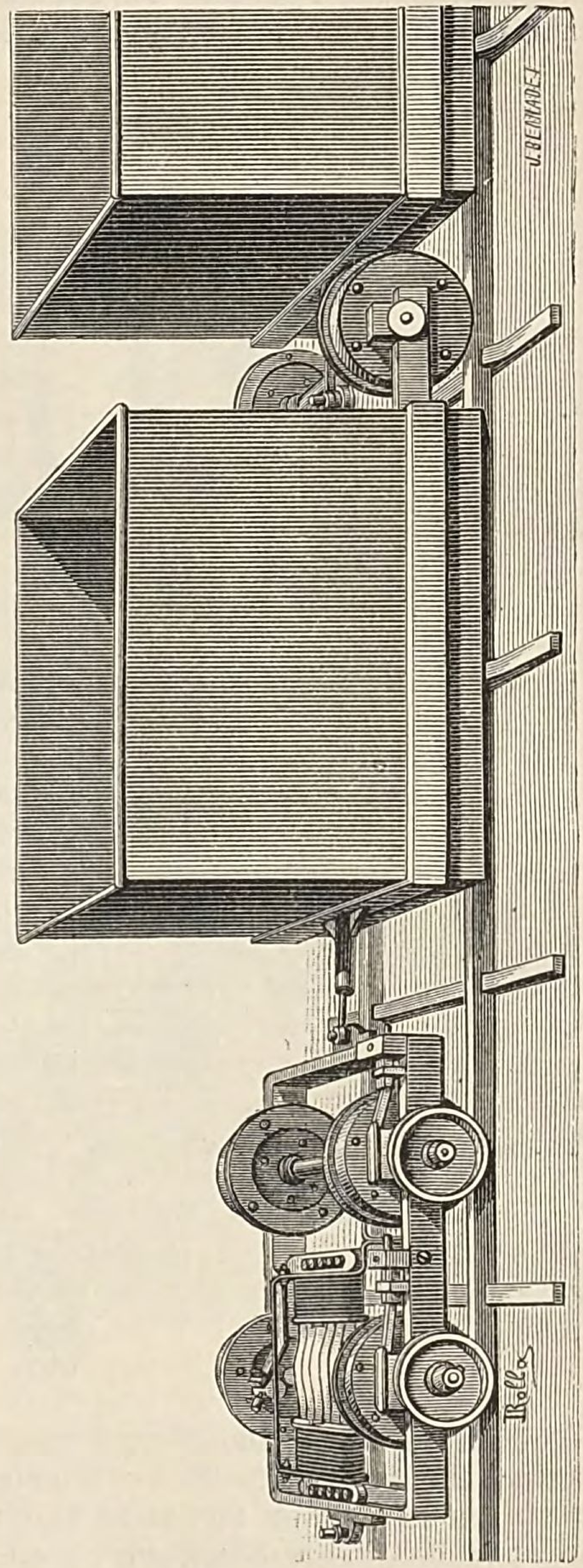
winden, weil ja in der Lokomotive allein die treibende Kraft liegt und weil bei einer gewissen Steigung der Bahn das Gewicht des angehängten Zuges der Kraft der Lokomotive das Gleichgewicht halten würde. Bei einer elektrischen Bahn dagegen kann man mit

Leichtigkeit jeden Wagen des Zuges selbst zur Lokomotive machen. Es braucht ja nur in diesen Wagen eine sekundäre Maschine gestellt zu werden. Dann hat jeder Wagen seine Triebkraft in sich, er wird nicht gezogen, sondern er läuft selbst, er kann deshalb auch so hohe Steigungen überwinden, bis sein eigenes Gewicht allein der Kraft der Dynamomaschine das Gleichgewicht hält. Es ist folglich bei der Anwendung von elektrischen Bahnen nicht die kostspielige Anlage von Tunnels und die Sprengung von Bergen in demselben Masse nöthig, wie bei Dampfmaschinen. Aber man kann auch die Elektricität als Hülfskraft für Dampfeisenbahnen benutzen, wenn diese grosse Steigungen überwinden sollen, indem man durch Dynamomaschinen, die ihre Kraft von einer feststehenden Dampfmaschine erhalten, beliebig vielen Axen Kraft mittheilt. Ein anderer wesentlicher Vortheil der elektrischen Bahn ist der, dass sie keinen Rauch entwickelt. Dadurch wird sie insbesondere zum Betriebe von Stadtbahnen und Tramways geeignet. Denn nur an der Stelle, wo die stehende Dampfmaschine sich befindet, wird Rauch erzeugt, wenn nicht überhaupt die Kraft durch fliessendes Wasser geliefert wird. Deshalb hat Siemens vorgeschlagen, in Berlin und Wien elektrische Eisenbahnen durch die Stadt zu bauen und zwar auf Säulen. Da bei diesen Bahnen die schwere Lokomotive wegfällt, so ist eine solche Hochbahn sehr viel leichter und gefahrloser auszuführen, als die Dampfhochbahnen, wie sie in Amerika zum Theil eingeführt sind. Der Mangel jeder Rauchentwickelung macht die elektrischen Bahnen auch besonders geeignet zur Benutzung in langen Tunnels, z. B. dem Gotthard- und Arlberg-Tunnel. Siemens & Halske, von denen diese Entwickelung des elektrischen Eisenbahnbetriebes ausging, schlugen auch vor, zur Beförderung von Briefen und Packeten innerhalb grosser Städte und auch auf grössere Entfernungen elektrische Postbahnen zu bauen, Bahnen, auf welchen kleine leichte Wagen, elektrisch betrieben, mit grosser Geschwindigkeit laufen könnten und die insbesondere die Rohrpost ersetzen könnten. Eine solche kleine Bahn, wie sie in Paris versuchsweise eingeführt wurde, kann eine Einrichtung haben, wie sie in Fig. 309 gezeichnet ist. Als Lokomotive dient eine Siemens'sche Dynamomaschine, welche ihre Kraft durch die Schienen zugeführt bekommt. Da die Wagen klein sind, könnte für grössere Entfernungen die Bahn verdeckt gebaut werden, um erstens die Isolation der Schienen von einander vor Regen und Schnee zu sichern und um zweitens die Geschwindigkeit der Bahn sehr vergrössern zu können, ohne auf dem Wege Schaden anzurichten. In Paris liefen diese Wagen mit einer Geschwindigkeit von 4 ½ Meilen in der Stunde.

Statt die Elektricität der laufenden Dynamomaschine durch die Schienen oder durch Drähte mittelst eines Contaktwagens zuzuführen, könnte man auch die Elektricitätsquelle mitfahren lassen, indem man nämlich Akkumulatoren zum Betriebe der Dynamomaschine verwendet. Insbesondere für Tramways wäre es möglich, wie in Paris bereits versucht wurde, auf diese Weise statt des Pferdebetriebs einen elektrischen Betrieb einzurichten. Der vorher geladene Akkumulator treibt, indem er selbst in dem Tramwaywagen sich befindet, eine Dynamomaschine, welche ihrerseits die Räder des

Wagens in Bewegung setzt. Der Nachtheil ist natürlich dabei, dass das Gewicht des Akkumulators eben mitgefahren werden muss, und gerade dies lässt es fraglich erscheinen, ob dieses Projekt im Grossen ausführbar ist.

Fig. 309.



Die Anwendung der Elektricität zur Kraftübertragung ist von Siemens & Halske noch in einem anderen Falle ausgeführt worden, der hohe Beachtung verdient. Es handelt sich darum, Lasten vertikal auf grosse Höhen zu befördern, also z. B. einen Personenaufzug in Hotels zu treiben. Dies wird bisher zum Theil durch Seilbetrieb bewerkstelligt, indem der Aufzug durch Seile gehoben wird, die über Rollen laufen und von Menschen oder von Maschinen gezogen werden. Durch die öftere Beschädigung der Seile ist dieser Betrieb ein recht gefährlicher, abgesehen von anderen Nachtheilen, die ihm anhaften. Ein anderes Mittel ist die Benutzung des Wasserdrucks, der hydraulische Aufzug, der aber sehr kostspielig und häufig gar nicht ausführbar ist. Mittelst elektrischer Kraftübertragung lässt sich diese Aufgabe einfach lösen. Man braucht ja nur, wie es Siemens bei einer solchen Anlage in Mannheim und auf der elektrischen Ausstellung in Wien gethan hat, in den Fahrstuhl eine Dynamomaschine, die sekundäre, zu bringen und durch deren Umdrehung Zahnräder in Bewegung zu setzen, welche in eine Zahnstange eingreifen. Dann klettert die Dynamomaschine und mit ihr der Fahrstuhl an dieser Zahnstange hinauf und hinab, wenn ihr der Strom zugeführt wird. Die Einrichtung dieses Siemens'schen Fahrstuhles zeigt Fig. 310. In dieser ist M der Cylinderinduktor der sekundären Dynamomaschine. Seine Axe trägt

eine Schraube ohne Ende S, durch deren Umdrehung das Rad R_1 (und ein anderes in der Figur nicht gezeichnetes) in Rotation versetzt wird und in die Zähne der Zahnstange L eingreift. Dadurch wird je nach der Richtung der Drehung der sekundären Dynamomaschine der Fahrstuhl hinauf- oder hinabbewegt. Die Ansicht des Fahrstuhles ist in

Fig. 310.

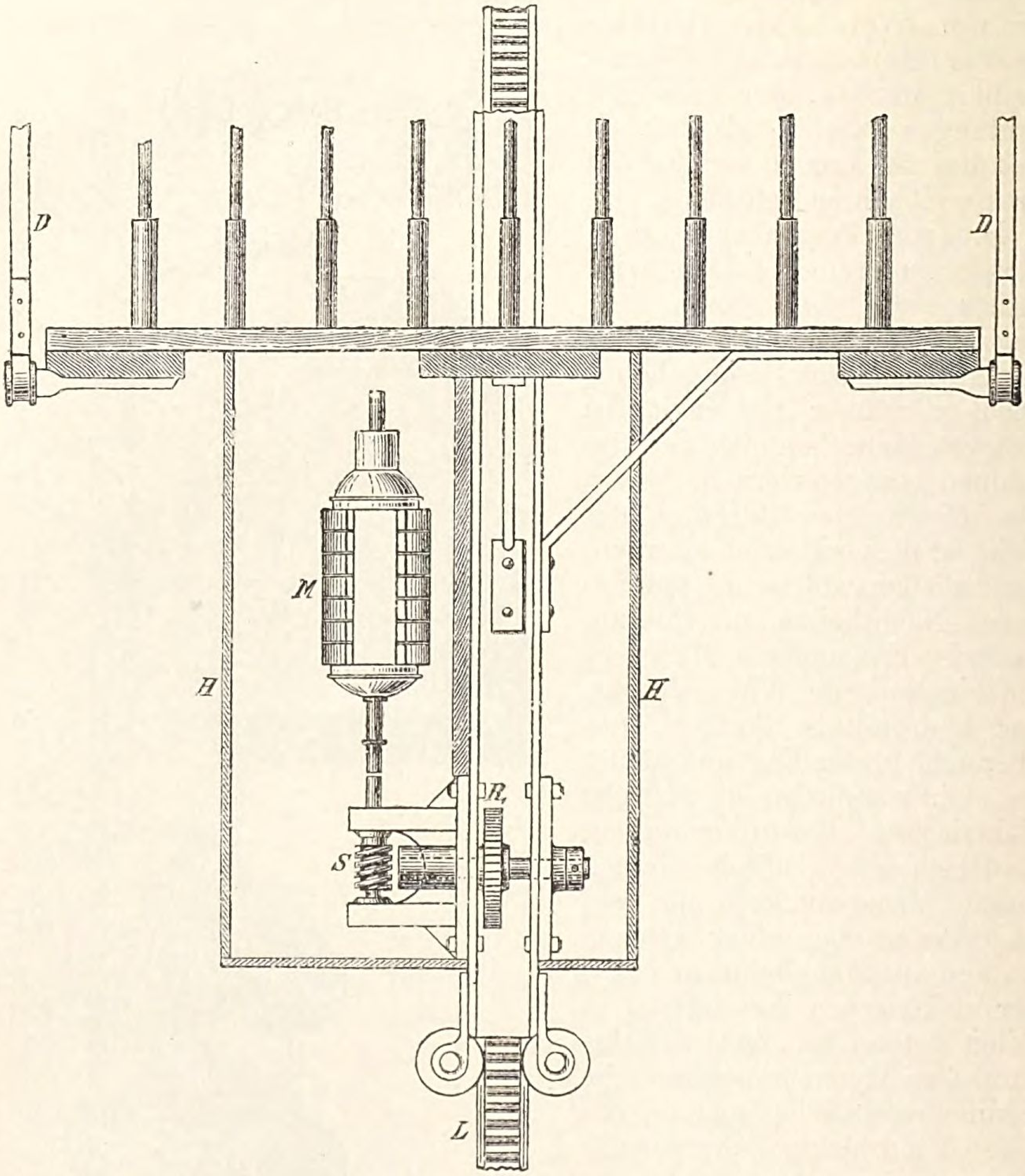
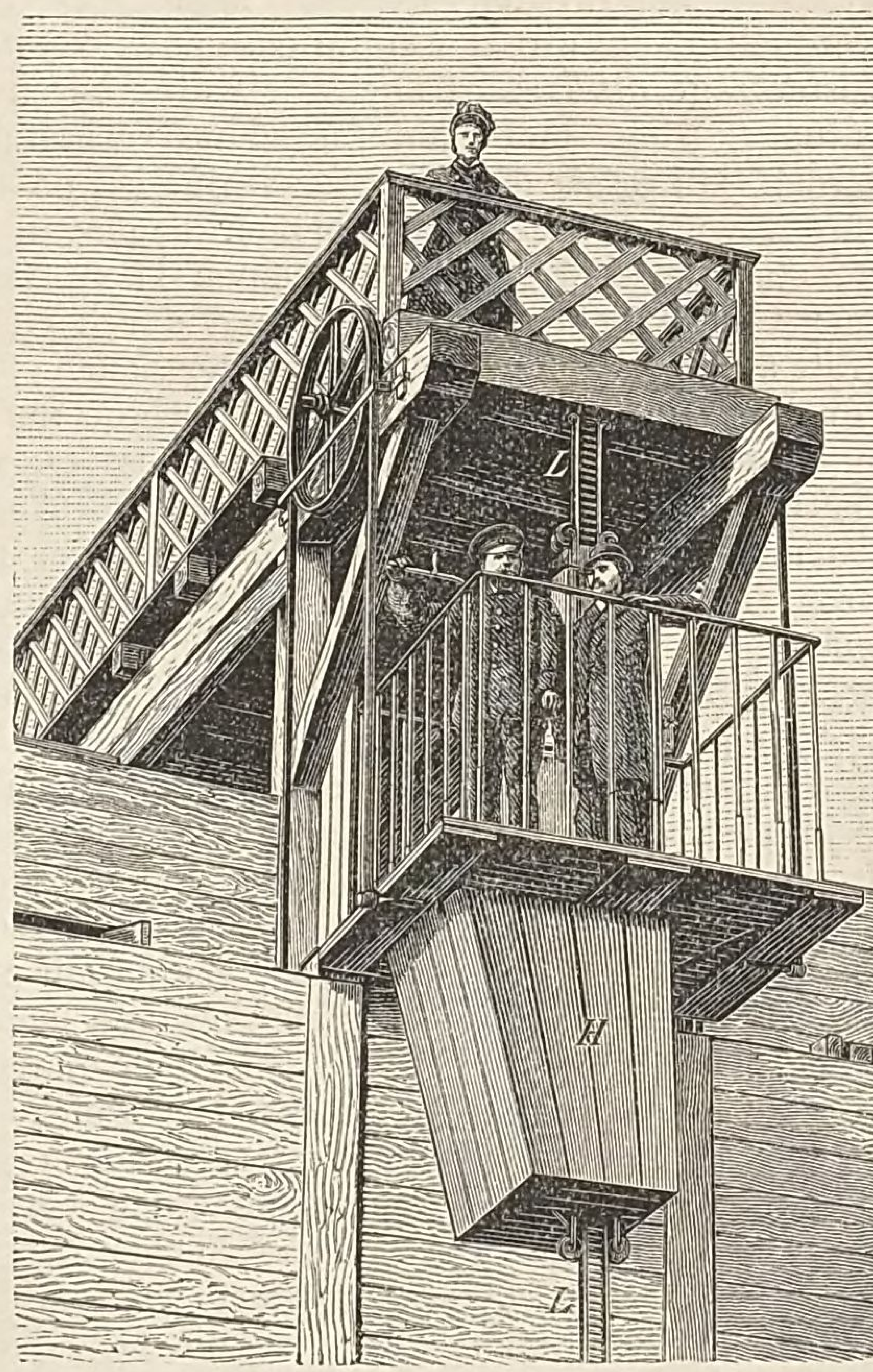


Fig. 311 gegeben. Die Dynamomaschine befindet sich in dem Verschlag H. Der Strom wird von einer primären Dynamomaschine geliefert, welche unten fest steht und von einem Motor getrieben wird. Er wird durch die Zahnstange (von Eisen) hinaufgeleitet und durch zwei Rollen, welche an dieser Zahnstange gleiten, in die sekundäre Maschine geführt. Der ganze Fahrstuhl ist durch ein Gegengewicht äquilibrirt, welches an einem Seile hängt, das über ein in der Figur sichtbares Rad läuft.

Der Transport von Waaren auf elektrischem Wege lässt sich noch mit anderen Mitteln in speciellen Fällen bewerkstelligen. Die englischen Gelehrten Jenkin, Ayrton und Perry haben ein System ausgearbeitet und zum Theil bereits praktisch versucht, welchem sie den Namen Telpherage gaben. Sie gingen von der Ansicht aus, dass, da die Elektricität in ihren Wirkungen sich von der Dampfkraft so wesentlich unterscheidet, auch der Transport von Massen auf elektrischem Wege anders eingerichtet werden müsse, als der mit Dampfkraft. Die Dampfeisenbahn benutzt vortheilhaft eine sehr grosse Lokomotive, an welche eine sehr grosse Last in vielen Waggons angehängt wird. Wollte man jeden einzelnen Waggon mit einer kleinen Lokomotive versehen, so würde das ein sehr unpraktisches Beginnen sein. Die Elektricität dagegen lässt sich ohne erhebliche Verluste in eine ganze Anzahl kleiner Maschinen einleiten, die dann jede nur eine kleine Arbeit leisten können. Wenn also beim Dampf die Centralisirung nothwendig ist, so ist bei der Elektricität die Theilung wenigstens nicht unvortheilhaft. Wenn man aber eine Menge kleiner Lasten, jede für sich, fortschaffen will, dann hat man grosse Vortheile in Bezug auf den Bau der Bahn. Eine Eisenbahn mit vielen Waggons braucht einen sorgfältig gearbeiteten Schienenweg. Die Fortschaffung einer Last von 200 Kilo dagegen kann leicht auf einem ausgespannten Drahtseil von nicht zu grosser Dicke in der Luft geschehen. Dies ist das Princip der Telpherage. Es soll der Strom durch einen in der Luft ausgespannten Draht (von ca. 16 Millimeter Stärke) geschickt werden und auf diesem in bestimmten Zwischenräumen leichte Waggons mit Lasten bis zu 200 Kilo mittelst Dynamomaschinen fahren. Die nähere Einrichtung dieses Systems ist noch im Stadium des Versuchs, seine Anwendung würde es z. B. bei

Fig. 311.



dem Transport von Kohlen aus Gruben, beim Aus- und Einladen von Schiffen oder Eisenbahnwaggons finden. Es entspricht im Princip dem Drahtseiltriebwerk, nur dass das Seil hierbei fest bleibt und die Waggons sich bewegen, während beim Drahtseilbetrieb das Seil mit den Waggons sich bewegt.

Bei allen den bisherigen Einrichtungen mit elektrischer Uebertragung der Kraft kam es wesentlich darauf an, die Anwendbarkeit der Elektricität zu solchen Zwecken zu zeigen. Die Kosten kamen noch wenig in Betracht. Soll jedoch die elektrische Kraftübertragung praktisch angewendet werden, namentlich in Fällen, in denen man eventuell auch direkt Dampfmaschinen verwenden könnte, so ist die Kostenfrage die Hauptfrage. Es wurde bereits erwähnt, dass die Unterhaltungskosten einer Dampfmaschine verhältnissmässig um so geringer werden, je grösser die Dampfmaschine ist, dass es deshalb sich empfehlen würde, wo an vielen aus einander liegenden Stellen Arbeit zu leisten ist, statt einer Menge von kleinen Dampfmaschinen eine grosse in einer Centralstelle aufzustellen und durch elektrische Transmission die Kraft auf verschiedene Punkte zu vertheilen. Gerade diese Aufgabe, die Vertheilung der Kraft einer Maschine auf elektrischem Wege nach verschiedenen Punkten, gerade diese ist es, welche augenblicklich die Thätigkeit der Fachmänner noch sehr in Anspruch nimmt. Es würde sich also darum handeln, von einer grossen Dynamomaschine aus den Strom in eine Reihe von kleinen Dynamomaschinen zu leiten, von denen jede eine bestimmte Arbeit zu leisten hat, und diese Vertheilung so zu bewerkstelligen, dass eine Maschine die andere nicht stört, dass z. B. die eine Dynamomaschine ausser Thätigkeit gesetzt werden kann, ohne dass die anderen Dynamomaschinen in ihrem Gange beeinflusst würden und dadurch unzweckmässig arbeiten. Es kommt also erstens darauf an, den Strom, der von der Hauptmaschine kommt, so zu vertheilen, dass jede sekundäre Maschine gerade ihre Arbeit leisten kann und es kommt zweitens darauf an, zu bewirken, dass jede sekundäre Maschine beliebig rascher und langsamer rotiren kann, ohne dass eine Störung der Nachbarbetriebe eintritt. Man sieht, dass diese Aufgabe ganz analog derjenigen ist, welche beim Betrieb von Glühlampen in einem ganzen Stadttheil sich ergab. Auch dort kam es darauf an, jede Glühlampe unabhängig von den anderen zu machen, es durften 100, 200 Lampen zu gleicher Zeit ausgelöscht werden, ohne dass die anderen dadurch gestört wurden. Die Aufgabe wurde von Edison dadurch gelöst, dass er die Glühlampen alle neben einander schaltete und die Dynamomaschine so regulirte, dass an ihren Polenden stets dieselbe Potentialdifferenz herrscht. Ganz ähnlich ist die Lösung, die Deprez für die elektrische Vertheilung gegeben hat.

Auch bei dem Deprez'schen Vertheilungssystem werden alle sekundären Maschinen, die also an den verschiedenen Stellen Arbeit zu leisten haben, neben einander in den Stromkreis eingeschaltet, der von der primären Maschine ausgeht.

Die Grösse der Arbeit, welche jede sekundäre Maschine pro Sekunde leisten kann, ist gleich dem Produkt aus ihrer elektromotorischen Kraft und der Stromstärke, welche in ihr herrscht. Die Stromstärke aber in

dem Zweige, in dem eine sekundäre Maschine steht, ist gleich dem Verhältniss der Potentialdifferenz an ihren Enden, dividirt durch den Widerstand der Maschine, welcher ein für allemal derselbe bleibt. Wenn man nun bewirken kann, dass die Potentialdifferenz an den Enden jeder sekundären Maschine dieselbe bleibt, welches auch die Vorgänge sonst in dem Stromkreise sind, so wird die Stromstärke stets dieselbe bleiben, und in Folge dessen die von jeder sekundären Maschine geleistete Arbeit unabhängig von den Vorgängen in den andern Maschinen sein. Dies ist also das Einzige, was verlangt wird: Es muss an den Enden jeder sekundären Maschine stets dieselbe Potentialdifferenz herrschen. Wenn alle sekundären Maschinen neben einander geschaltet sind und die Hauptzuleitungsdrähte verschwindenden Widerstand haben, so kommt das wieder darauf hinaus, dass die primäre Maschine constante Klemmspannung hat unabhängig von den Widerständen im äusseren Stromkreis. Genau diesen Fall hatten wir aber schon bei der Glühlichtbeleuchtung zu erörtern und so ergibt sich, dass, wenn die primäre Maschine mit passender Compoundschaltung versehen ist, das Problem der Stromvertheilung vollständig gelöst ist.

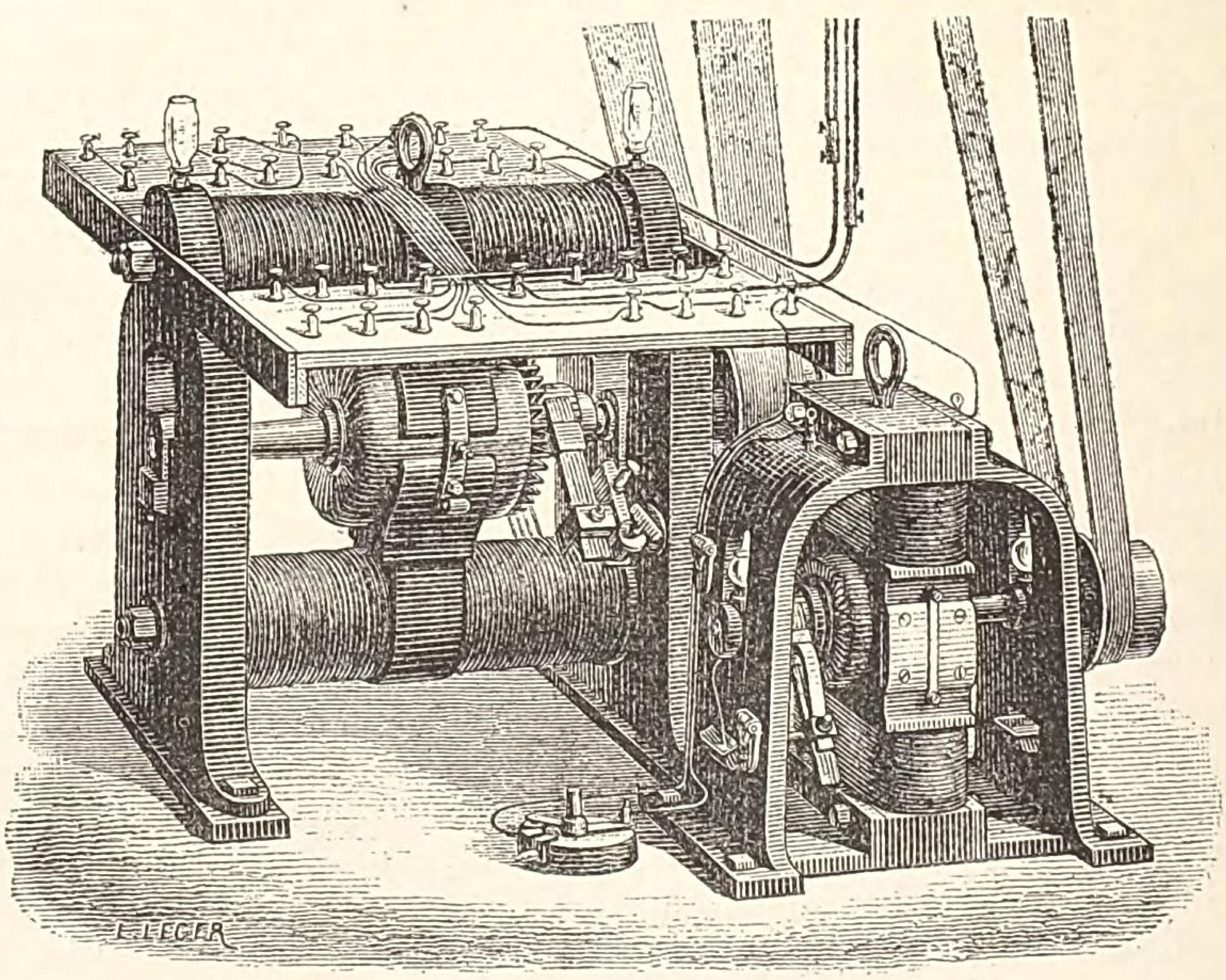
Diese Forderung für die Beschaffenheit der primären Maschine hat Deprez zuerst durch sehr sinnreiche Betrachtungen aufgestellt und seine theoretischen Ergebnisse auch praktisch auf der Pariser Ausstellung ausgeführt. Er wandte damals noch nicht die Compoundschaltung direkt an, sondern eine Schaltung, die im Princip auf dasselbe hinauskommt. Er liess nämlich die primäre Maschine nicht blos sich selbst nach dem Dynamoprincip erregen, sondern liess noch ausserdem ihre Magnete durch einen besonderen Strom erregen und setzte das Verhältniss dieser beiden Wirkungen ebenso wie die Geschwindigkeit der Maschine ein für allemal von vornherein fest. In Fig. 312 [1]) a. f. S. ist die Deprez'sche Einrichtung seiner primären Maschine gezeichnet. Es sind zwei Gramme'sche Maschinen, von denen die kleinere blos dazu dient, die Elektromagnete der grösseren zu speisen, während die grössere sowohl ihre eigenen Magnete erregt, als auch den Strom in die sekundären Maschinen sendet. Durch die Compoundmaschinen, wie sie jetzt construirt werden, wird dieses Ziel auf ebenso sichere und einfache Weise erreicht.

Auf der elektrischen Ausstellung in Paris hatte Deprez nach diesem System der Stromvertheilung 27 verschiedene Apparate durch eine primäre Maschine treiben lassen. Alle diese Apparate, resp. ihre sekundären Dynamomaschinen waren neben einander in den Stromkreis der primären Maschine geschaltet. Es wurden so von der Centralstation aus betrieben eine Metallschneidemaschine, eine Holzschneidemaschine, zwei Platirmaschinen, zwei Nähmaschinen, eine Druckpresse, Drehbänke und Kreissägen u. s. w., eine jede unabhängig von der andern, so dass man beliebig viele Apparate zu gleicher Zeit in Gang halten oder ausschalten konnte, ohne die übrigen zu stören.

[1]) Die Figuren 260, 261, 304, 312 sind aus dem Werke „La lumière électrique par Alglave et Boulard" entnommen.

Die Vertheilung der Kraft in Verbindung mit der Uebertragung der Kraft ist eine der wichtigsten Aufgaben der Elektrotechnik. Denn wenn es auf einfache Weise möglich ist, beliebig viele Maschinen elektrisch von einer Stelle aus zu betreiben, so wird diese Einrichtung

Fig. 312.



rasch einen Maschinenbetrieb in Kleingewerben hervorrufen, bei denen bisher Handbetrieb herrschte. In der That lohnte es sich natürlich nicht, eine Metallschneidemaschine, die etwa $\frac{1}{20}$ Pferdekraft braucht, durch einen eigenen Motor zu betreiben, weil die Anschaffung und Unterhaltung des Motors zu kostspielig wäre. Wenn aber durch eine blosse Abzweigung mit einer kleinen Dynamomaschine diese Kraft bequem ins Haus geführt werden kann, so wird der Maschinenbetrieb in den meisten Fällen vorzuziehen sein. Insbesondere aber liegt die Zukunft der elektrischen Kraftübertragung und Kraftvertheilung in der Nutzbarmachung der Wasserkräfte. Alle Ortschaften, die in nicht zu grosser Entfernung Wasserkräfte besitzen, würden dann diese auf elektrischem Wege zu jedem einzelnen Betrieb verwenden können, während bis jetzt nur die Fabriken, die direkt am Wasser liegen, dieser billigen Betriebskraft theilhaftig waren. Der elektrischen Kraftübertragung gehört die Zukunft.

6. Kapitel.

Die Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung.

Die wunderbare Eigenschaft des elektrischen Stromes, dass er flüssige Leiter, Elektrolyte, bei seinem Durchgang in ihre Bestandtheile zerlegt und dass diese Bestandtheile an den Elektroden frei auftreten, führte im Jahre 1837 Jacobi dazu, diese Eigenschaft zum Ueberziehen von Körpern mit Metallen zu benutzen. Jacobi war es, der den Anstoss zu der Galvanoplastik gab, der Kunst, auf galvanischem Wege Metallniederschläge auf den Oberflächen von Körpern hervorzubringen, und seit dieser Zeit hat sich die Galvanoplastik zu einem bedeutenden Industriezweig ausgebildet und immer neue Aufgaben in ihre Domäne gezogen.

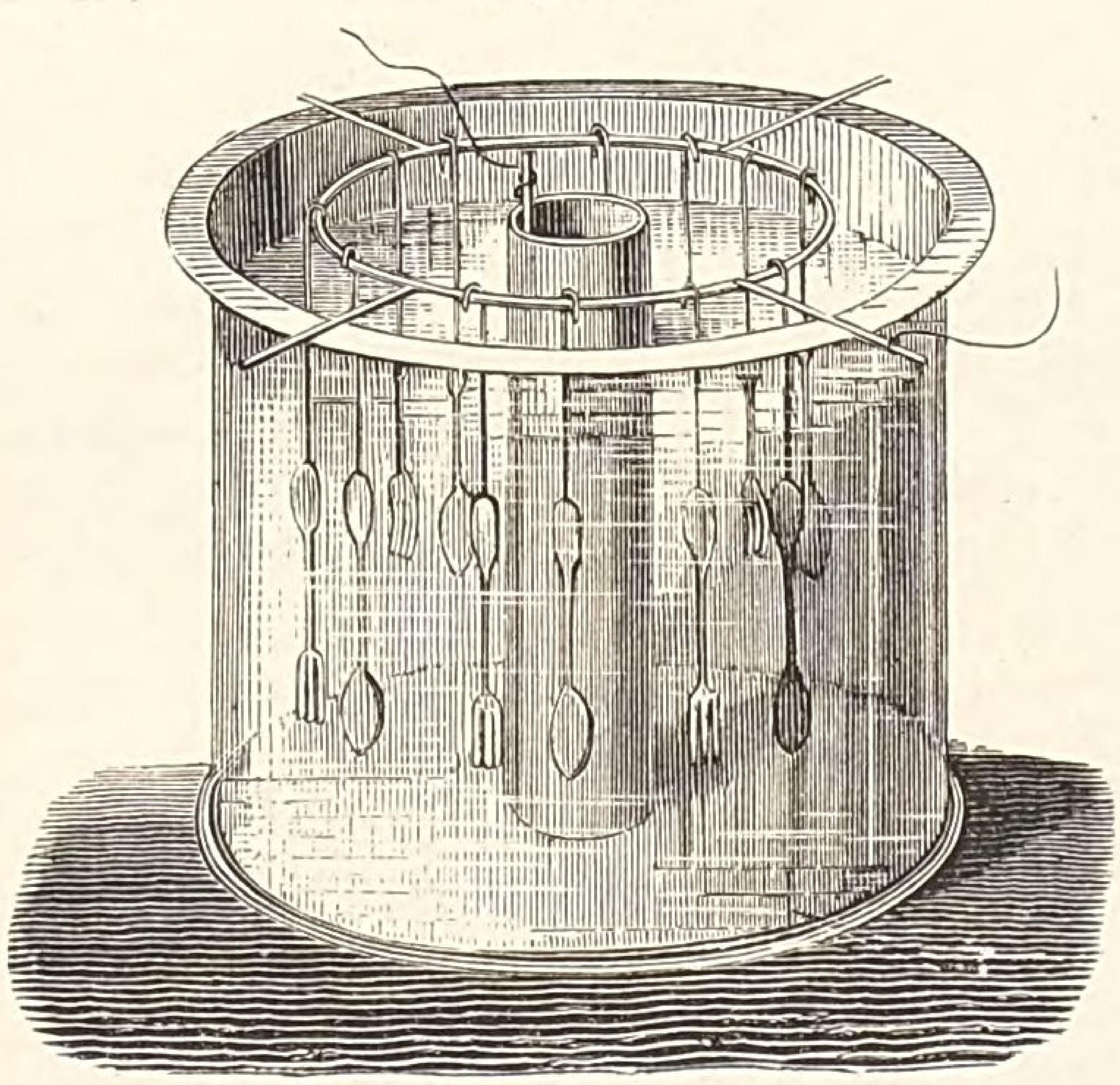
Jede Lösung eines Metallsalzes, z. B. eine Kupfervitriollösung, wird durch einen elektrischen Strom, wie wir wissen (s. S. 115) zerlegt, und es scheidet sich das Metall an der negativen Elektrode ab, der übrige Bestandtheil, der die Säure enthält, an der positiven Elektrode. Besteht die positive Elektrode aus demselben Metall, welches in der Salzlösung enthalten ist, so wird für jedes Aequivalent des Metalls, das sich an der negativen Elektrode abscheidet, ein Aequivalent desselben Metalls von der positiven Elektrode aufgelöst, die Flüssigkeit bleibt also immer gleich concentrirt und es findet nur an der positiven Elektrode eine Auflösung des Metalls, an der negativen ein Niederschlagen desselben Metalls statt.

Auf diese Weise kann man also die negative Elektrode mit einer Schicht eines Metalls überziehen und je nach dem Metallsalz, das man anwendet, kann man Gegenstände verkupfern, vernickeln, vergolden, versilbern, verzinnen, verplatiniren (plattiren), verstählen. Jedoch eignet sich nicht jedes Metallsalz gleich gut, um solche galvanoplastische Niederschläge zu liefern, es haben sich im Gegentheil durch die Erfahrung für die verschiedenen Metallniederschläge bestimmte Salze als besonders zweckmässig erwiesen. Doch ist dabei noch immer die Concentration der Flüssigkeit, aus welcher das Metall niedergeschlagen werden soll, des Bades, von wesentlichem Einfluss auf die Schönheit des Niederschlags und es haben darin die einzelnen Fabriken ihre besonderen Geheimnisse.

Zwei Aufgaben lassen sich sofort bei der Galvanoplastik unterscheiden. Die eine Aufgabe besteht darin, gewisse Gegenstände mit einem dünneren oder dickeren Ueberzug eines Metalls, z. B. Gold, zu versehen, so dass der Ueberzug auf ihnen haften bleibt. Die zweite Aufgabe ist die, Gegenstände, z. B. Gypsfiguren, mit einer dickeren Schicht eines Metalls zu überziehen, so dass man diese Schicht von ihnen abnehmen kann und dadurch einen Abdruck des ursprünglichen Gegenstandes hat. Beide Aufgaben sind nur durch ihre Benutzung verschieden, ihre Lösung auf galvanischem Wege ist dieselbe.

Wenn ein leitender Körper, also gewöhnlich ein Metall, mit einem galvanoplastischen Ueberzug versehen werden soll, der auf ihm haften soll, so ist es vor allen Dingen nöthig, die Oberfläche des Metalls ganz von allen Verunreinigungen zu befreien, oder, wie man sagt, zu decapiren. Diese Decapirung kann bei manchen Metallen dadurch geschehen, dass man sie in Säuren eintaucht, also auf chemischem Wege, bei anderen muss man auf mechanischem Wege durch Bürsten und Reiben dieselbe zu bewerkstelligen suchen.

Fig. 313.

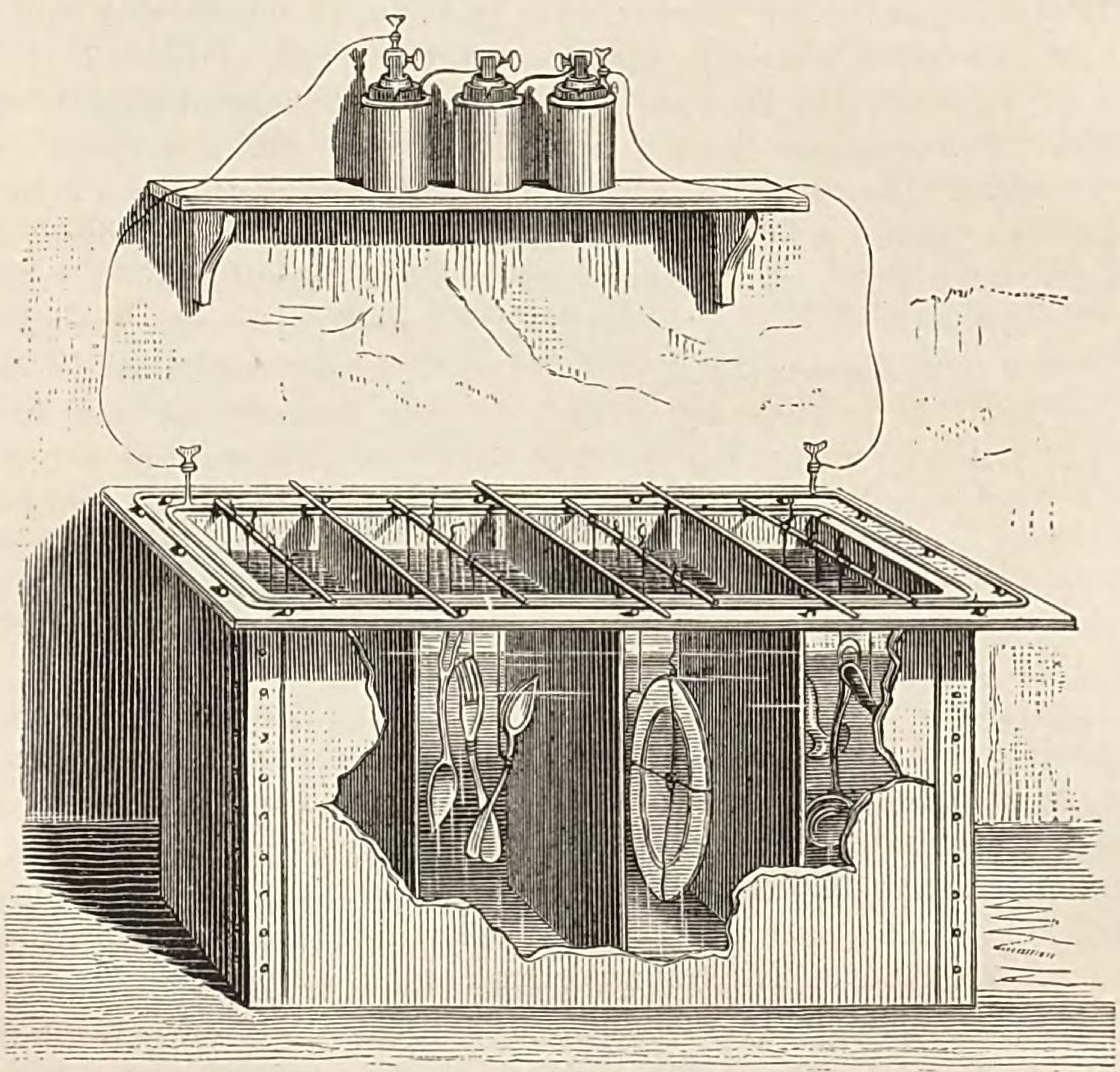


Es werden dann die zu überziehenden Gegenstände, also z. B. Löffel und Messer und Gabeln, alle zusammen in das Bad getaucht, z. B. in ein Silberbad, und alle miteinander verbunden. Ein solches Bad zeigt z. B. Fig. 313. In dem hohen Glasgefäss befindet sich in der Mitte ein Ring von Messing, der durch vier Stäbchen auf dem Rand des Gefässes aufsitzt. An dem Ring hängen alle zu versilbernden Gegenstände und sie sind durch den Ring alle mit der negativen Elektrode der Batterie verbunden. Als positive Elektrode steht in diesem Falle ein cylinderförmiges Silberblech in der Mitte des Bades, damit alle Gegenstände möglichst gleichmässig stark versilbert werden. Das Bad zur Versilberung besteht aus einer Lösung von Cyansilberkalium, welche man in der für die Versilberung passenden Zusammensetzung erhält, wenn man in 10 Kilo Wasser 250 Gramm reines Cyankalium auflöst und ein lösliches Silbersalz, z. B. salpetersaures Silber zusetzt, so dass 100 Gramm Silber in der Lösung sind.

Die als negative Elektrode dienenden Gegenstände überziehen sich dann mit einer Schicht von Silber, die sich ganz genau der Form der Gegenstände anschliesst, und um so dicker wird, je länger man den Strom durchfliessen lässt. Die Gleichmässigkeit des Ueberzugs wird noch dadurch befördert, dass man die Gegenstände von Zeit zu Zeit umkehrt.

Ein grösseres Bad, wie es gewöhnlich gebraucht wird, zeigt Fig. 314. Es besteht aus einer Holzwanne, welche innen gewöhnlich mit Guttapercha oder durch einen Kitt dicht gemacht ist. An dem oberen Rand der Wanne laufen zwei von einander isolirte ungleich hohe Messingstreifen. Der äussere Streifen wird mit dem positiven Pol der Batterie verbunden, der innere mit dem negativen. Die gegenüberliegenden Seiten des inneren Streifens werden nun durch eine Reihe von Metallstäbchen, die man über sie legt, mit einander verbunden,

Fig. 314.



und an diese die zu versilbernden Gegenstände angehängt. Zwischen je zwei solchen Stäben wird nun ebenfalls auf die beiden gegenüberliegenden Seiten des äusseren Messingstreifens je ein Stab gelegt und mit diesen je ein Silberblech verbunden. So hat man gewissermassen eine Reihe von Zellen neben einander, wodurch der Widerstand des Bades sehr klein wird, und da die zu versilbernden Gegenstände mitten zwischen den Silberplatten hängen, so werden sie gleichmässig versilbert. Auch hier wird die Gleichmässigkeit wieder durch zeitweiliges Umhängen befördert.

Dieselbe Einrichtung des Bades, welche hier für die Versilberung gezeigt wurde, lässt sich auch für jede andere galvanische Metallüberziehung anwenden.

Zum Verkupfern nimmt man gewöhnlich eine Lösung von schwefelsaurem Kupfer (Kupfervitriol) oder von Cyankupferkalium.

Zum Vergolden braucht man am vortheilhaftesten eine Lösung von Cyangoldkalium. Es wird als passendes Goldbad empfohlen eine Lösung, welche 1 Liter Wasser, 40 Gramm Cyankali, 2 Gramm Ammoniak und 10 Gramm Gold enthält. Diese 10 Gramm Gold bringt man am besten in die Lösung, indem man sie in Form des Goldchlorids (24 Gramm) in Wasser löst und einträgt. Besondere Formen der Vergoldung sind die sogenannte grüne und rothe Vergoldung, bei welcher der Goldüberzug nicht aus reinem Gold besteht, sondern aus Gold, welches mit Silber resp. Kupfer versetzt ist. Es ist nach den Angaben der Christofle'schen Fabrik, der berühmtesten in diesem Fach, sehr schwierig, die richtige Zusammensetzung des Bades zu finden, aus welchem grünes oder rothes Gold von gewünschter Nüance abgeschieden wird. Man lässt deshalb den Strom selbst die richtige Zusammensetzung bereiten. In ein gewöhnliches (braunes) Goldbad, in welchem das zu überziehende Metall als negative Elektrode hängt, taucht man als positive Elektrode eine reine Silberplatte. Diese löst sich durch den Strom auf und dadurch ändert sich die Zusammensetzung des Bades allmählich, und der Niederschlag auf dem negativen Metall bekommt allmählich die grüne Farbe. Sobald die gewünschte Nüance da ist, wird der Strom unterbrochen und nun als positive Elektrode eine Platte aus grünem Gold hineingehängt, welche dann den Process bis zu Ende durchführt. Dasselbe Verfahren wird bei der rothen Vergoldung mit einer Kupferplatte angewendet.

Alle die obigen Vorschriften sind natürlich mannigfacher Veränderungen fähig.

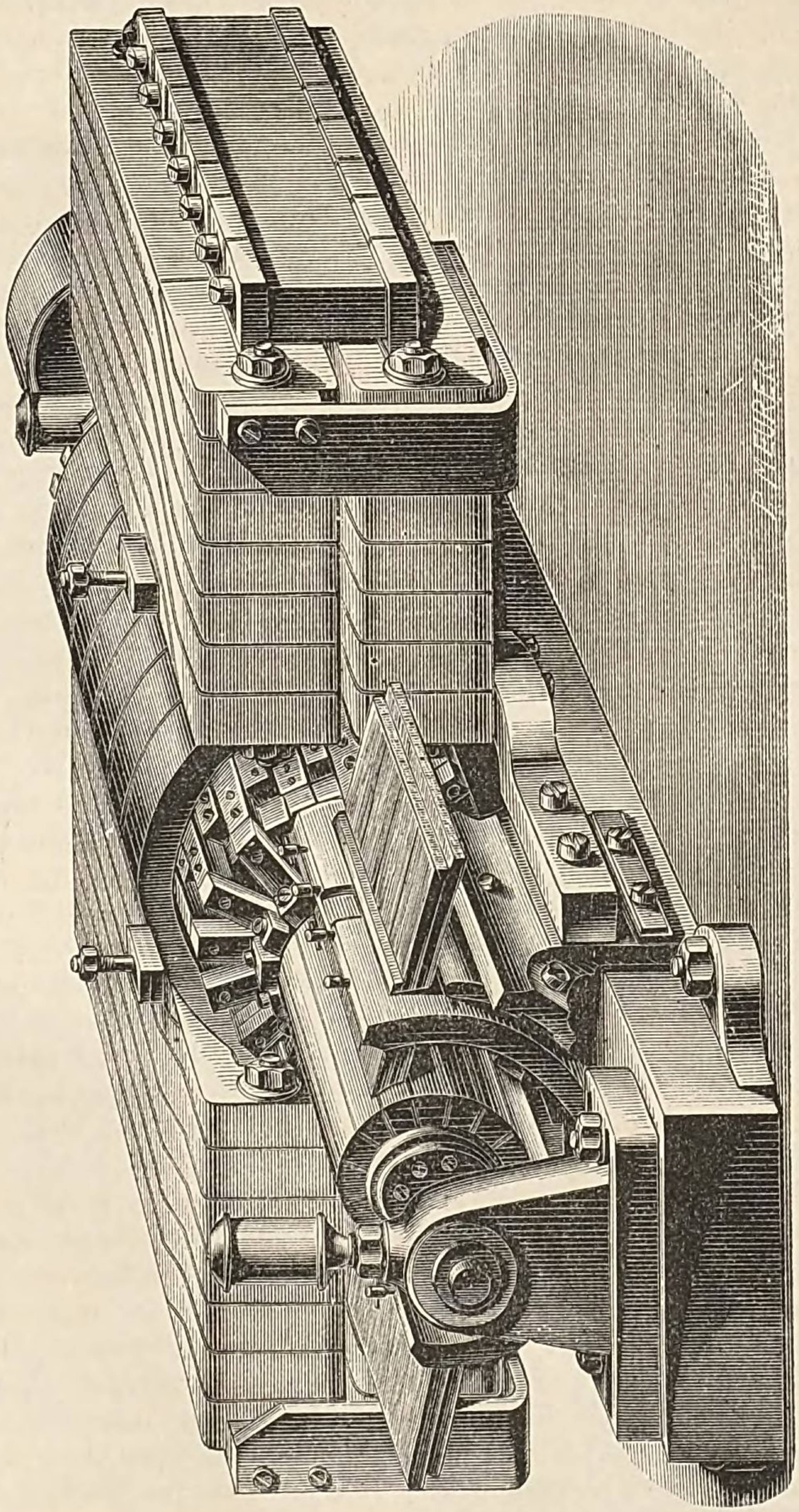
In neuerer Zeit hat man auch mit grossem Vortheil angefangen, galvanisch zu vernickeln, insbesondere ist ein Nickelüberzug bei Eisengegenständen sehr werthvoll, weil er das Rosten hindert. Auch Messinggegenstände werden jetzt sehr häufig vernickelt. Als beste Zusammensetzung des Nickelbades wird von Fabrikanten eine solche angegeben, welche auf 20 Liter Wasser 500 Gramm Borsäure und 1 Kilo schwefelsaures Nickeloxydulammoniak enthält.

Zum Vernickeln muss man, wegen des bald zu erwähnenden Polarisationsstromes, eine starke galvanische Batterie anwenden, oder noch vortheilhafter eine Dynamomaschine von der Form, wie sie gleich angegeben werden wird.

Während man früher für diese galvanoplastischen Arbeiten stets sich der galvanischen Elemente bediente und in Folge dessen bei grossen Fabriken eine sehr grosse Anzahl derselben benutzen musste, ist seit der Vervollkommnung der Dynamomaschine auch in diesem Zweig der Elektrotechnik ein Umschwung eingetreten. Man kann natürlich jede Maschine, welche gleichgerichtete Ströme liefert, zur Galvanoplastik benutzen. Die galvanoplastischen Bäder sind jedoch immer so grosse, ausgedehnte Flüssigkeitsmengen, dass ihr galvanischer Widerstand fast verschwindend ist. Es ist also für galvanoplastische Zwecke zwar eine Maschine nöthig, welche einen starken Strom liefert, aber sie braucht diesen Strom nur in einem Kreise von geringem Widerstande zu liefern. Aus diesem Grunde ist es zweckmässig, dass auch der innere Widerstand der Maschine ein sehr kleiner ist. Denn

wir wissen, dass der innere Widerstand kleiner als der äussere sein soll. Es haben zuerst Siemens und Halske eine solche Maschine (Fig. 315)

Fig. 315.



gebaut, welche nur ungefähr 0,007 Ohm inneren Widerstand hat (Induktor und Magnetwindungen zusammengenommen). Um diesen überaus geringen Widerstand herzustellen, wurden die Magnete nicht

mit Drähten umgeben, sondern mit dicken Kupferbarren, wie es die Figur zeigt, und der Cylinderinduktor mit dicken Kupferstäben belegt, welche nach Hefner'scher Methode mit einander verbunden sind. Alle Kupfertheile dieser Maschine sind nicht umsponnen, sondern blank, weil die Maschine einen solch starken Strom geben soll, dass selbst die dicken Kupfermassen noch heiss werden. Die Umspinnungen würden also verbrennen. Dagegen ist die Isolation aller Kupferstücke von einander durch Asbest hergestellt, einen unverbrennlichen Körper. Die Maschine hat eine nur sehr geringe elektromotorische Kraft, etwa gleich der von 3 Daniell, aber bei den so überaus geringen Widerständen lässt sich die Stromstärke bis auf nahezu 800 Ampère treiben, eine ganz enorme Intensität, welche auch für rein galvanoplastische Zwecke nicht einmal nothwendig ist. Es ist die gezeichnete Maschine auch für einen anderen Zweck gebaut, von dem gleich die Rede sein wird. Auch von anderen Construkteuren werden Maschinen für galvanoplastische Zwecke gebaut, deren Besonderheit eben auch in ihrem geringen inneren Widerstand liegt. Die in Fig. 234 abgebildete Maschine von Schuckert ist für galvanoplastische Zwecke gebaut.

Zur Verringerung des Widerstandes der Maschinen werden auch oft die Elektromagnete nicht in den Hauptstromkreis gelegt, sondern, wie es S. 239 beschrieben ist, nebengeschaltet. Diese letztere Anordnung hat noch einen ganz besonderen Vortheil. Bei galvanoplastischen Funktionen einer Dynamomaschine kommt es ja wesentlich darauf an, dass stets der eine Pol, der mit den zu überziehenden Gegenständen verbunden ist, der negative Pol bleibt, dass nicht etwa die Elektromagnete ihre Polarität während des Betriebes umkehren und so die Gegenstände, statt z. B. vernickelt zu werden, entnickelt werden. Ein solches Umkehren der Maschine kann aber bei der gewöhnlichen Anordnung leicht eintreten, wenn Ring, Magnete und Bad hinter einander geschaltet werden. Bei der Elektrolyse entsteht ja immer Polarisation und also auch ein Polarisationsstrom, welcher dem Maschinenstrom entgegenwirkt. Bei normaler Geschwindigkeit ist die elektromotorische Kraft der Maschine so gross, dass sie die elektromotorische Kraft des auftretenden Polarisationsstromes überwindet und den Strom in bestimmter Richtung durch die Leitung sendet. Wenn aber während des Betriebes die Geschwindigkeit der Maschine plötzlich abnimmt, z. B. durch eine momentane Störung des Motors, dann überwiegt der Polarisationsstrom, es fliesst also ein Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Maschine und die Pole des Elektromagnets werden umgekehrt. Kommt die Dynamomaschine wieder in richtigen Gang, so bleiben doch die Pole der Elektromagnete umgekehrt, weil eine Dynamomaschine ja nur den vorhandenen Magnetismus ihrer Eisentheile verstärkt, der Strom der Maschine hat also nun die entgegengesetzte Richtung wie früher; der vorher negative Pol wird jetzt positiver. Alle die Niederschläge auf den Gegenständen im Bade werden also nun wieder aufgelöst.

Man hat durch eigene Apparate, sogenannte Strombrecher, diesen Uebelstand zu beseitigen gesucht; Apparate, die darauf beruhen, dass sie, sowie der Maschinenstrom zu schwach wird, ihn

selbstthätig ganz unterbrechen. Auf sehr einfache Weise wird aber diese Gefahr durch die Nebenschaltung der Elektromagnete beseitigt. Denn dabei bleibt der Strom um die Elektromagnete immer unverändert in seiner Richtung, mag nun der Maschinenstrom oder der Polarisationsstrom überwiegen. Betrachten wir das Schema in Fig. 316, in welchem E_1 und E_2 zwei verschieden starke Elemente sind, die durch Leiter gegen einander verbunden sind. Bei a und b zweige sich ein Widerstand w ab. Ist nun E_1 stärker als E_2 und fliesst der positive Strom von E_1 über a nach E_2, so hat a positives Potential, b negatives. In w fliesst also der Strom in Richtung des Pfeiles. Ist umgekehrt E_2 stärker als E_1, so fliesst zwischen E_1 und E_2 der Strom in entgegengesetzter Richtung, von E_2

Fig. 316.

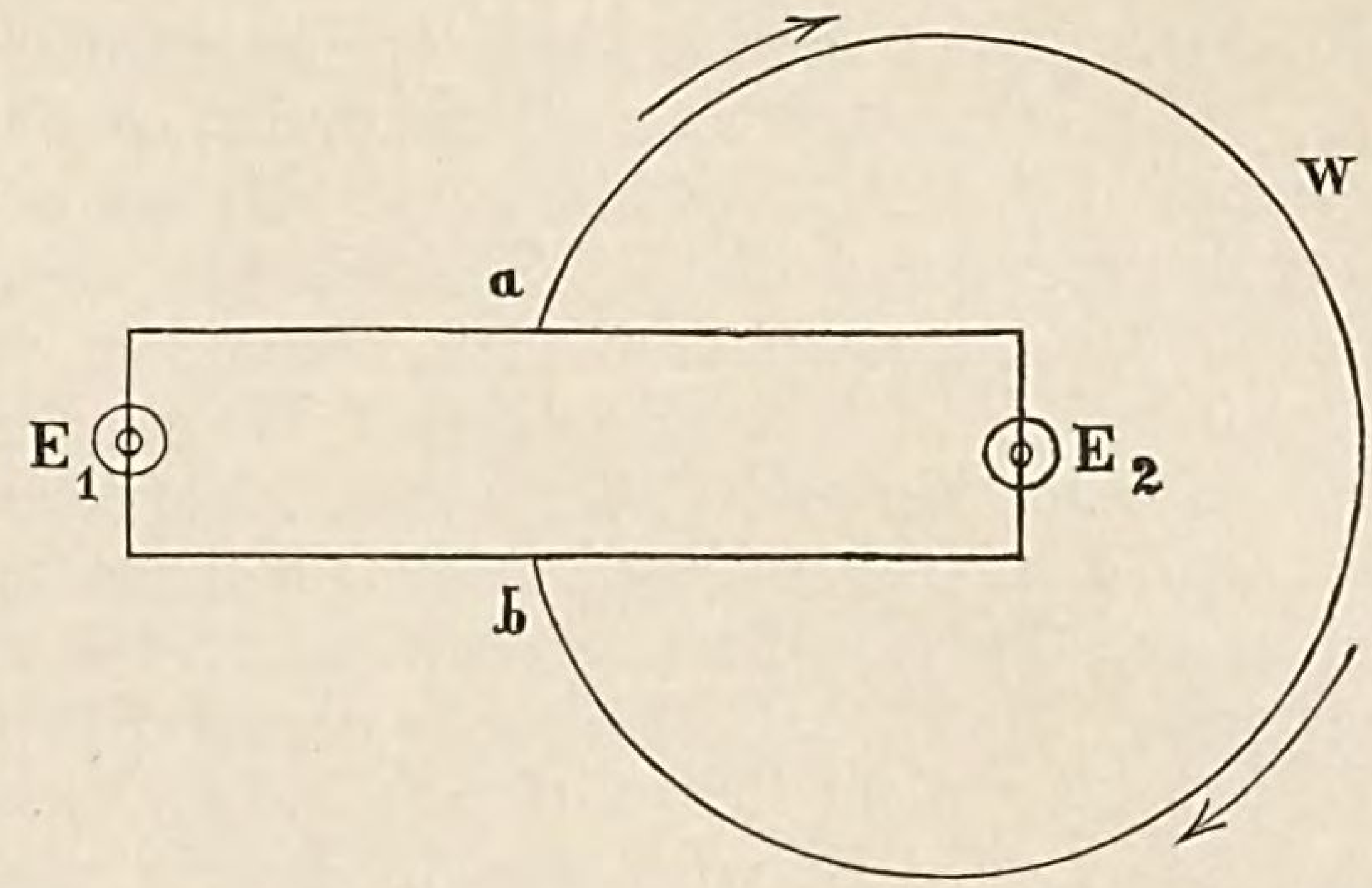


Fig. 317.

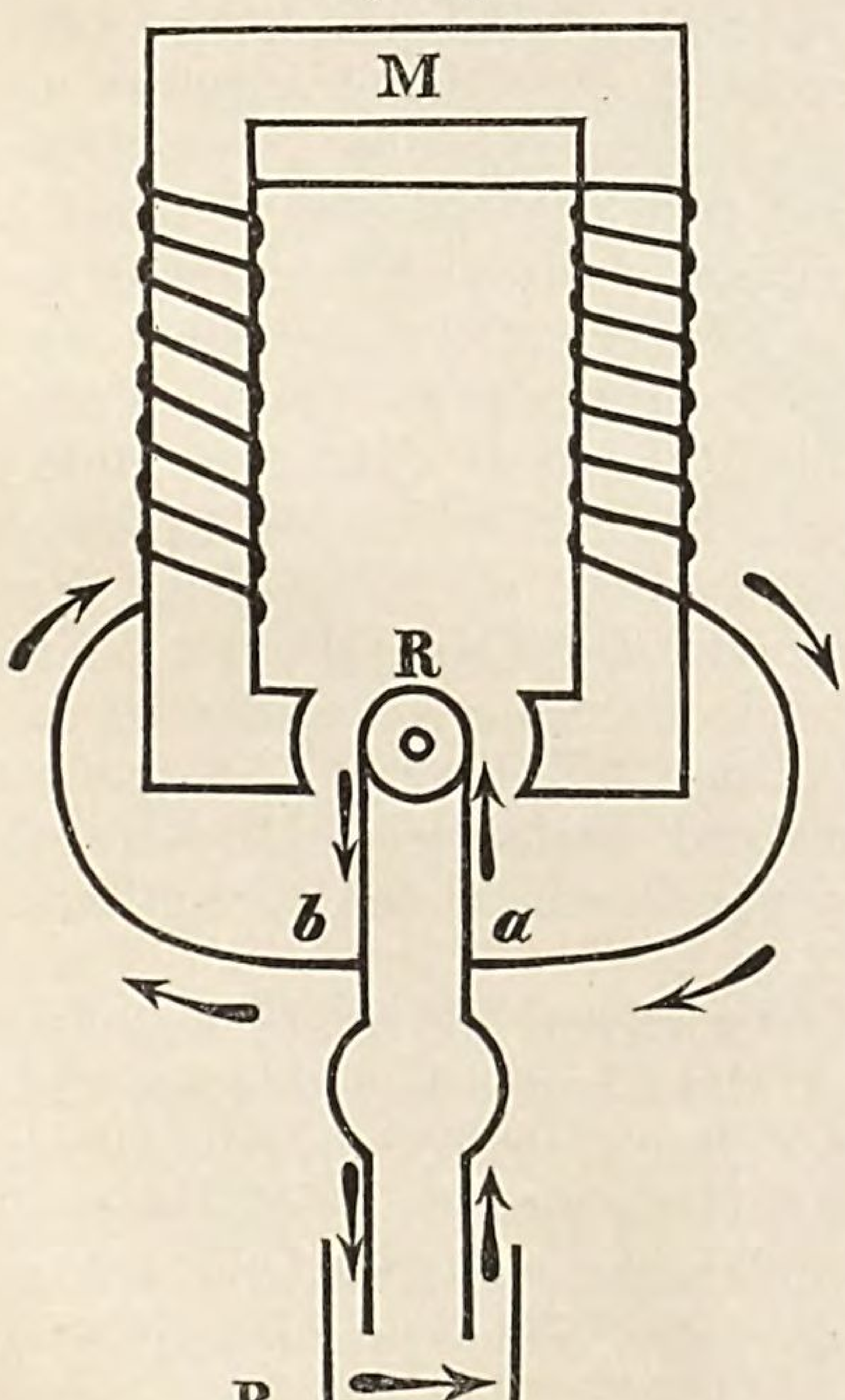
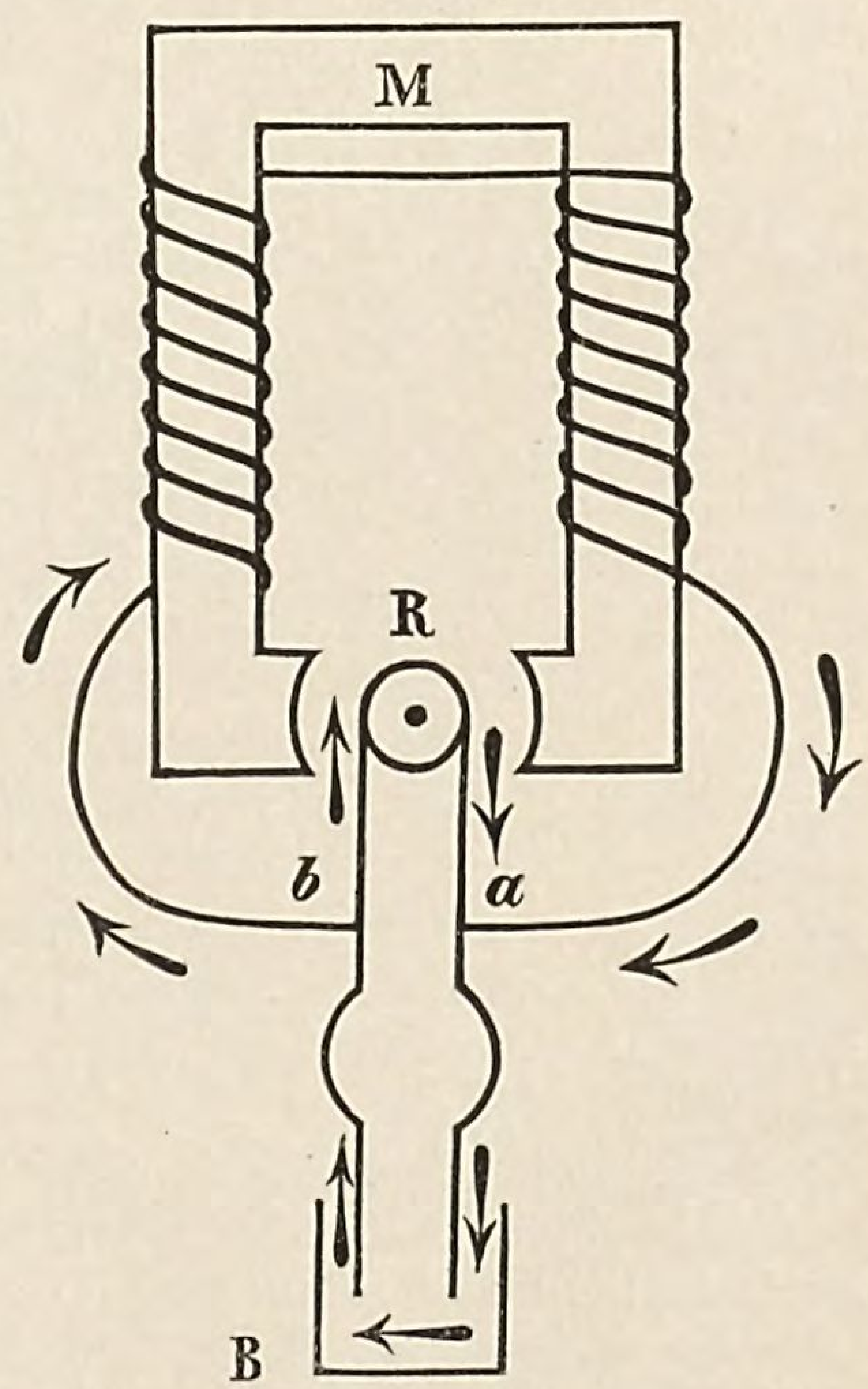


Fig. 318.



über a nach E_1. Folglich hat auch dann wieder a positives Potential, b negatives, und folglich fliesst der Strom in w wiederum in Richtung des Pfeiles, wie früher. Dieses Schema ist in Fig. 317 und 318

an der Verbindung von Dynamomaschinen mit einer Polarisationszelle ausgeführt. Welche Kraft auch überwiege, die des Ringes oder die der Polarisationszelle, stets fliesst im Draht w, d. h. hier um die Magnete, der Strom in derselben Richtung. Der Strom der Maschine kehrt sich mithin nicht dauernd um, wenn er auch zuweilen durch Geschwindigkeitsschwankungen sich momentan umkehren kann.

Mit diesen starken Strömen ist es nun möglich, in kurzer Zeit beliebig dicke Niederschläge von Metallen auf anderen Körpern hervorzubringen, und diese Niederschläge können bei einiger Sorgfalt so gleichmässig gemacht werden, dass sie den feinsten Contouren des Gegenstandes sich anschmiegen. Wenn der galvanische Niederschlag, wie es beim Vergolden, Versilbern, Vernickeln fast stets verlangt wird, fest auf dem Gegenstande haften soll, so muss dessen Oberfläche, wie schon erwähnt, vollständig rein sein, sie muss decapirt werden. Die geringste Spur von Fett auf einem Körper lässt den galvanischen Niederschlag nicht fest auf ihm haften, sondern man kann ihn dann leicht ablösen. Es wird gerade dies in vielen Fällen gewünscht. Die Gegenstände, welche galvanisch überzogen sein sollen, müssen stets leitend sein, da sie ja als negative Elektroden in die Flüssigkeit tauchen müssen. Das Einfachste ist daher, auf Metallen galvanische Niederschläge hervorzubringen. Aber auch nicht leitende Körper kann man galvanoplastisch überziehen, wenn man blos ihre Oberfläche leitend macht, wenn man sie, wie die galvanoplastische Technik es nennt, metallisirt. Ein einfaches und oft anwendbares Mittel dazu ist das, die Oberfläche des betreffenden Körpers mit ganz feinem Graphitpulver einzureiben. Der Graphit ist ein Leiter der Elektricität, wenn er auch viel schlechter als Metall leitet, er ist in äusserst fein vertheilten Zustand zu bringen und haftet leicht an Körpern, namentlich wenn sie nicht ganz eben und glatt sind. So kann man Gypsmedaillen oder Figuren, ebenso Figuren aus Holz, Alabaster, Marmor einfach durch Bestreichen mit Graphitpulver an der Oberfläche leitend machen. In anderen Fällen, wo der Graphit nicht haftet, z. B. bei Glas, Porzellan, Elfenbein und anderen, muss man erst den Gegenstand mit einer ganz dünnen Firnissschicht überziehen und, wenn dieser beinahe trocken geworden ist, das Graphitpulver aufstreichen. Will man den galvanoplastischen Ueberzug von dem Gegenstand nachher leicht entfernen können, so muss man die Bürste, mit welcher man den Graphit aufstreicht, etwas mit Talg einfetten.

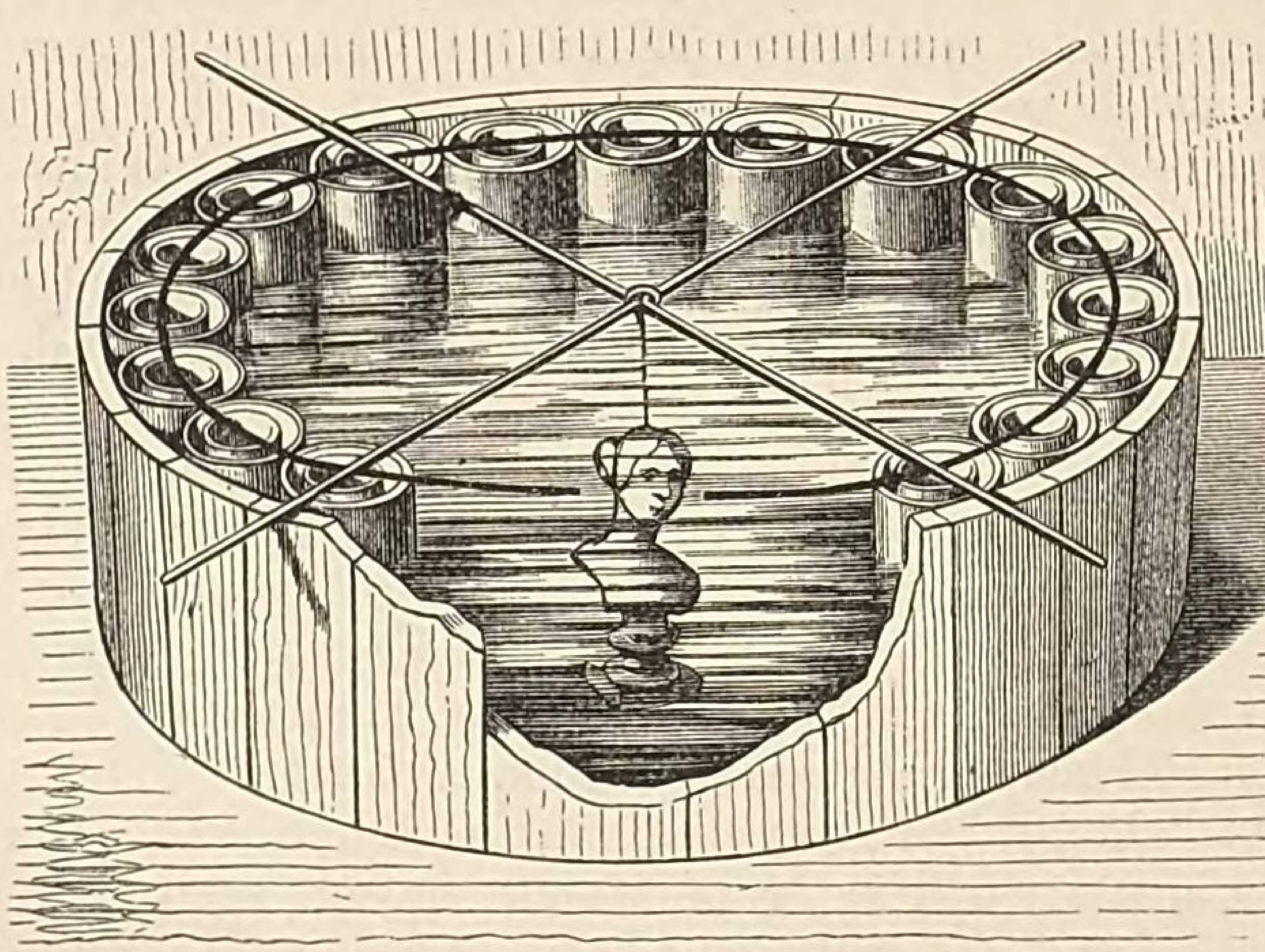
In vielen Fällen, namentlich bei sehr zarten Objekten, Früchten, Blumen u. s. w. lässt sich aber dieses Metallisiren mit Graphit nicht anwenden. Man kann dann aber auf chemischem Wege den Gegenstand mit einer ganz feinen, leitenden Schicht versehen. Man braucht nur das Objekt mit einer Lösung eines Metallsalzes einzustreichen und kann dann durch Reduktion dieses Salzes das Metall auf dem Objekt in einer sehr feinen Schicht niederschlagen.

Ein sehr brauchbares Mittel dazu ist eine Lösung von salpetersaurem Silber, welches sich in Wasser leicht, in warmem Alkohol zwar schwer, aber doch etwas löst. Mit dieser Lösung überstreicht man dann die Objekte (Blumen und Früchte z. B. mit der alkoholischen

Lösung), und wenn man sie dann dem Sonnenlicht aussetzt, so scheidet sich das Silber aus der Lösung in Form eines ganz feinen, schwarzen Pulvers auf der Oberfläche ab und macht diese nun leitend genug, um galvanoplastisch überzogen werden zu können.

Auf diese Weise kann man auf jedem beliebigen Körper einen galvanischen Ueberzug hervorbringen und den Ueberzug nachher auch leicht von dem Objekt trennen. Gerade diese Aufgabe ist es, welche bei nichtmetallischen Gegenständen meistens gestellt wird, man will Abdrücke des Gegenstandes. Meistentheils und am leichtesten werden diese Abdrücke in Kupfer gemacht. Der leitende oder metallisirte Gegenstand wird, etwas gefettet, als negative Elektrode in eine Lösung von schwefelsaurem Kupfer gebracht, und wenn die niedergeschlagene Schicht eine gewisse Dicke erreicht hat, ist es leicht, sie einfach abzunehmen. So macht man jetzt von Kunstwerken, von Gypsfiguren, von Medaillen, Münzen galvanische Kupferabdrücke. Die Anordnung

Fig. 319.



eines solchen Bades zur Verkupferung einer Gypsbüste zeigt Fig. 319. Ja man kann sogar von Photographieen galvanische Abdrücke in Kupfer erhalten. Eine Daguerrotypplatte wird mit einer sehr verdünnten Lösung von Cyankali übergossen, abgewaschen und dann in das Bad gehängt. Wenn ein schwacher Strom 5—8 Stunden hindurchgeflossen ist, so ist auf der Platte eine Kupferschicht, welche sich leicht mit einem Messer ablösen lässt und welche die Photographie bis in die feinsten Details wiedergiebt. Natürlich sind aber die erhabenen Stellen der Photographie auf dem Abdrucke vertieft und umgekehrt. Man hat also ein negatives Bild. Man kann jedoch von diesem negativen Bild wieder einen galvanischen Abdruck machen und so ein genaues Positiv erhalten. Diese Möglichkeit, Photographieen galvanoplastisch zu fixiren und von ihnen Abdrücke zu machen, ist die Grundlage der neuerdings vielbenutzten Heliogravure.

Die galvanischen Abformungen werden jetzt fast allein zur Re-

produktion von Stahlstichen und Holzschnitten angewendet. Von einem Holzschnitt z. B. lassen sich nicht ohne Schaden sehr viele Abdrücke machen. Man verfertigt daher von einem solchen Holzschnitt, den man durch Graphit metallisirt, beliebig viele galvanische Abformungen, Cliché's, und macht von jedem solchen Cliché nur so viel Abdrücke, als man scharf erhalten kann. Dasselbe Verfahren wendet man oft bei Drucken, bei Schriftsätzen an, von welchen man, nachdem sie gesetzt sind, erst galvanische Cliché's anfertigt, die man dann nur so oft benutzt, als sie scharfe Abdrücke geben. Um Kupferstiche, die durch viele Abdrücke sehr leiden, beliebig oft reproduciren zu können, macht man auch galvanoplastische sogenannte Hochplatten von ihnen (in denen die Zeichnung erhaben ist) und kann dann von den Hochplatten beliebig viele Clichés abnehmen. Oft macht man auch die Originalkupferplatte des Stichs dadurch widerstandsfähig, dass man sie galvanoplastisch mit einer dünnen Schicht Eisen überzieht, verstählt. Eine solche verstählte Kupferstichplatte erlaubt eine sehr grosse Menge von Abdrücken und die Verstählung kann ohne Schaden durch Behandlung der Platte mit Schwefelsäure entfernt und dann wieder erneuert werden.

Während auf der negativen Elektrode das Metall aus der Lösung niedergeschlagen wird, wird die positive Elektrode aufgelöst. Auch diese Auflösung der positiven Elektrode lässt sich technisch verwerthen, nämlich zum Graviren der Metalle. Wenn man nämlich einzelne Theile der positiven Elektrode mit einer isolirenden Substanz, z. B. mit Lack oder Wachs, bedeckt, so werden diese Theile während des Stromdurchgangs nicht aufgelöst. Von den übrigen nicht bedeckten Theilen wird das Metall allmählich fortgenommen, sie werden vertieft, während die bedeckten Theile in der ursprünglichen Höhe bleiben. Man kann alo das Metall der positiven Elektrode z. B. ganz mit Wachs überziehen und nur eine Zeichnung in das Wachs kratzen, so dass dort das Metall frei liegt, dann ist nach Durchgang des Stromes diese Zeichnung vertieft in dem Metall. Oder man kann auch das Muster ganz mit Wachs bedeckt halten und nur die übrige Fläche der Elektrode frei lassen, dann wird nach Durchgang des Stromes das Muster erhaben auf der Elektrode erscheinen.

Während so die Elektricität schon seit langer Zeit für diese Zwecke der Industrie verwendet wird, um eben galvanoplastische Arbeiten zu verrichten, ist seit der Entwickelung der Dynamomaschinen ihr noch eine neue Aufgabe zugefallen, welche ebenfalls auf der Elektrolyse beruht. Es handelt sich darum, unreine Metalle auf galvanischem Wege zu reinigen, also z. B. aus unreinem Kupfer, das mit allerhand Stoffen vermengt ist, ganz reines darzustellen. Dies erreicht man jetzt dadurch, dass man das unreine Metall als positive Elektrode in ein Bad bringt und als negative Elektrode ein dünnes Blech desselben Metalls in reinem Zustand. Dann löst sich durch die Elektrolyse das unreine Metall auf und an der negativen Elektrode scheidet sich ganz reines Metall ab. Es wird z. B. das unreine Kupfer in Form grosser, dicker Platten gegossen und als positive Elektrode in ein Bad von schwefelsaurem Kupfer gestellt. Als negative Elektrode dient eine

gleich grosse dünne Scheibe von reinem Kupfer. Das unreine Kupfer löst sich in der durch die Elektrolyse an ihm auftretenden Schwefelsäure auf, während das reine Kupfer an der negativen Elektrode sich abscheidet. So stehen in dem Hüttenwerke zu Ocker i. S. eine Reihe von grossen Siemens'schen Dynamomaschinen von der oben beschriebenen Form, von denen jede durch 10 bis 12 Bäder zusammen den Strom schickt. In jedem Bad wird in 24 Stunden ungefähr ein halber Centner Kupfer rein niedergeschlagen, so dass jede Maschine täglich 5 bis 6 Centner Reinkupfer darstellt. Dazu braucht sie die Arbeit von 8 bis 10 Pferdekräften.

Es bestehen bei dieser Anwendung des galvanischen Stromes die beiden Elektroden in dem Bade aus dem gleichen Metall, aus Kupfer, nur dass die eine Elektrode noch fremde Beimengungen hat. Je grösser diese fremden Beimengungen sind, desto grösser ist der Polarisationsstrom, welcher dem Strom der Dynamomaschine entgegenwirkt, um so mehr Arbeit muss also auch geleistet werden, um diese Polarisation zu überwinden. Je unreiner das Kupfer ist, desto weniger lohnend ist also diese Anlage. Sie ist am zweckmässigsten, wenn in dem Rohkupfer nicht mehr als 1/2 % Unreinheiten enthalten sind.

Nach dem Ausspruche Werner Siemens', des Schöpfers der modernen Elektrotechnik, scheint gerade auf diesem Gebiet der chemischen Processe dem elektrischen Strom noch die grösste Zukunft bevorzustehen. „Gerade auf diesem Gebiete," sagt Siemens, „wird der elektrische Strom voraussichtlich künftig die grössten Erfolge aufzuweisen haben und auf ihm der Menschheit die grössten Dienste leisten können. Technisch noch ganz unbebaut liegt das weite, so viel versprechende Gebiet der Elektrolyse feuerflüssiger Leiter da und weder die wissenschaftliche noch die technische Chemie hat die analytische und synthetische Kraft des Stromes bisher gebührend gewürdigt."

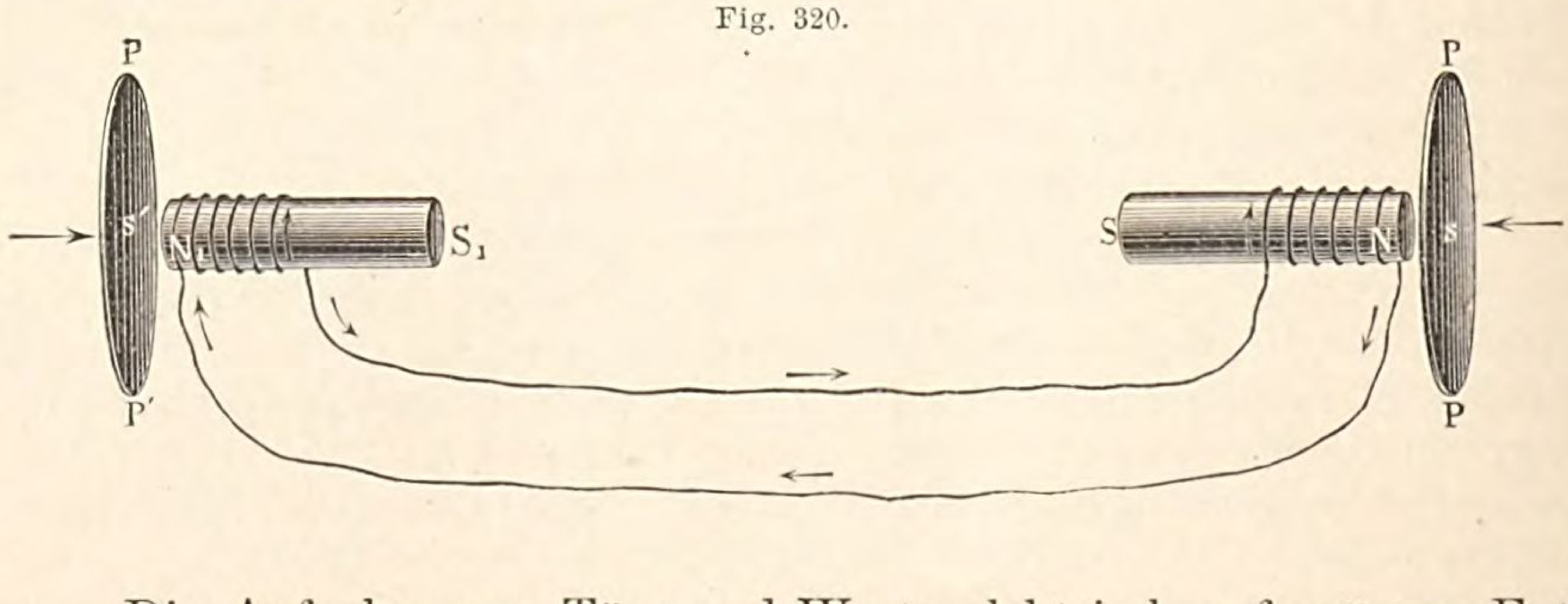
7. Kapitel.

Telephon und Mikrophon.

Hatten wir es in den bisher besprochenen Anwendungen der Elektricität stets mit den Wirkungen kräftiger, intensiver elektrischer Ströme zu thun, so werden wir umgekehrt bei dem Telephon von Strömen zu sprechen haben von ganz minimaler Stärke, von so schwachen Strömen, dass man kaum je hätte glauben können, sie für praktische Bedürfnisse zu verwerthen.

Das Telephon in der Gestalt, wie es sich jetzt in wenigen Jahren einen Platz unter den wichtigsten Verkehrsmitteln der Menschheit errungen hat, ist einer der genialsten Apparate, den die Physik kennt, um so genialer, weil er in überaus einfacher Weise construirt ist und Principien benutzt, die alle längst bekannt und angewendet waren. Es ist Graham Bell, dem wir die Erfindung des Telephons verdanken. Zwar waren schon früher Versuche gemacht worden, Töne vermittelst der Elektricität in die Ferne zu übertragen, insbesondere hat Philipp Reis 1860 ein Telephon construirt, durch welches auch bereits Worte und Töne elektrisch übertragen werden konnten, aber einen praktischen Erfolg erlangte dieses Unternehmen erst durch die einfache Construktion von Bell.

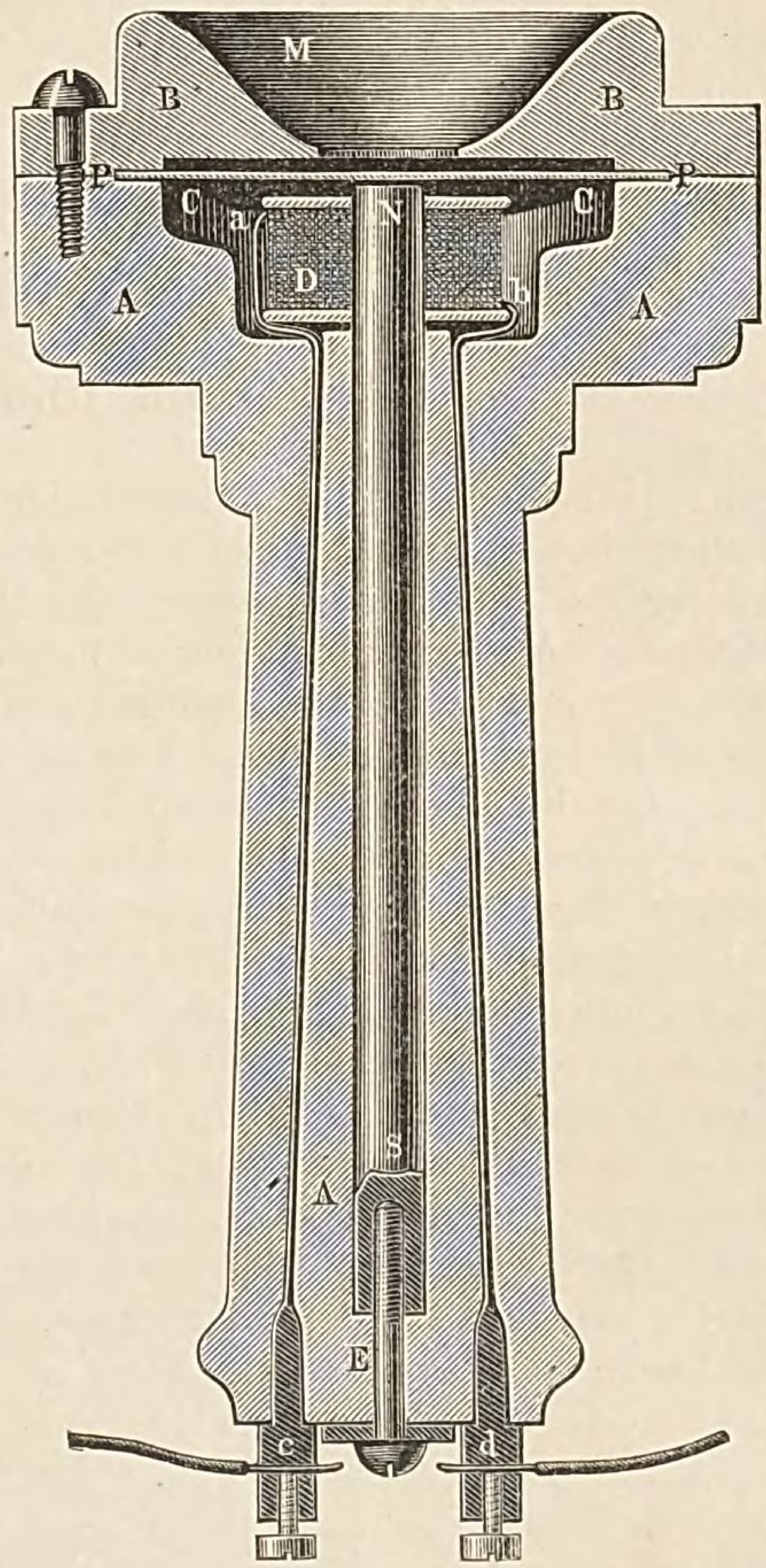
Fig. 320.



Die Aufgabe war, Töne und Worte elektrisch auf grössere Entfernungen zu übertragen. Töne sind ja nichts anderes als Schwingungen des tönenden Körpers, also eine bestimmte Art von Bewegung.

Die Aufgabe, Töne zu übertragen, ist also ein specieller Fall der Aufgabe, auf elektrischem Wege Bewegung zu übertragen. Es soll an einer Stelle, an einer Station, ein Körper in schwingende Bewegung versetzt werden, diese Bewegung soll elektrische Ströme erzeugen, welche nach der andern Station fortgepflanzt werden und dort sollen diese Ströme wieder schwingende Bewegungen, Töne hervorbringen, die elektrische Energie soll sich wieder in Bewegungsenergie umsetzen.

Fig. 321.



Die Art und Weise, wie Bell dieses Problem mit den einfachsten Mitteln gelöst hat, haben wir bereits auf S. 187 im Princip kennen gelernt. An jeder der beiden Stationen befindet sich ein mit einer Drahtspule umwickelter Stahlmagnet (Fig. 320). Die beiden Drahtspulen sind mit einander zu einem geschlossenen Kreis verbunden. Vor jedem dieser permanenten Magnete befindet sich in geringer Entfernung eine dünne Platte aus weichem Eisen, welche an ihrem Rande befestigt ist. Diese Platten werden durch die Nähe des Magneten selbst magnetisch. Sobald nun die eine Eisenplatte etwas zu ihrem Magneten hingebogen wird, wirkt ihr Magnetismus auf die Umwindungsspule der Magnete und erzeugt in dieser einen Induktionsstrom in einer bestimmten Richtung, einen Näherungsstrom. Dieser pflanzt sich durch die Leitung fort bis zu dem Magneten der zweiten Station, umfliesst diesen in passender Richtung und verstärkt dadurch dessen Magnetismus. In Folge dessen zieht der stärker gewordene Magnet die vor ihm stehende Eisenplatte an, diese biegt sich auch gegen den Magneten hin, macht also dieselbe Bewegung wie die Platte der ersten Station. Dasselbe findet statt, wenn die erste Eisenplatte von ihrem Magneten etwas entfernt wird. Dann entfernt sich in Folge des entstehenden Induktionsstromes auch die zweite Eisenplatte von ihren Magneten.

Ganz nach diesem Schema ist das Telephon von Graham Bell eingerichtet, welches in Fig. 321 abgebildet ist. In einem Holzgehäuse befindet sich ein Magnetstab N S, dessen Nordpol mit einer Draht-

spirale D aus sehr feinem, dünnen Draht umwickelt ist. Dicht über ihm, aber ohne ihn zu berühren, befindet sich die dünne Platte C aus weichem Eisen, welche mit ihren Rändern in dem Holzgehäuse bei P P befestigt ist. Der Deckel hat eine Oeffnung, durch welche die Mitte der Eisenplatte frei liegt, so dass man an sie heran sprechen und singen kann. Jeder Ton versetzt die Platte in schwingende Bewegung und diese pflanzt sich auf elektrischem Wege durch die Drahtleitung zur entfernten Station fort, wo sie dieselben Schwingungen, denselben Ton hervorbringt.

Bei einem jeden Ton haben wir zu unterscheiden zwischen der Anzahl der Schwingungen, der Tonhöhe, und zwischen der Grösse des Ausschlags der schwingenden Theilchen, der Tonstärke. Beide müssen durch das Telephon sich fortpflanzen lassen. Die Tonhöhe ist die Zahl der hin- und hergehenden Bewegungen der Platte in bestimmter Zeit, z. B. in einer Sekunde. Eine jede solche Bewegung erzeugt einen entsprechenden Strom, und die Anzahl der Induktionsströme ist genau gleich der Anzahl der Schwingungen. Die Stärke des in das Telephon hineingesungenen oder hineingesprochenen Tones beeinflusst die Stärke der Durchbiegung der Eisenplatte. Durch einen stärkeren Ton wird die Eisenplatte kräftiger und weiter an den Magneten herangedrückt oder von ihm entfernt und in Folge dessen werden auch die Induktionsströme stärker. Das Telephon folgt also genau jeder Veränderung in der Tonhöhe und Tonstärke des hineingesprochenen Tones. Ja es leistet noch mehr. Das dritte Element, welches einen jeden Klang charakterisirt, ist seine Farbe, die Klangfarbe. Die menschliche Stimme hat einen anderen Klang, eine andere Klangfarbe, als eine Violine oder eine Trompete. Der Unterschied dieser Klangfarben beruht nach den berühmten Untersuchungen von v. Helmholtz darauf, dass in einem Klang nicht blos eine einzige Art von Schwingungen vorhanden ist, nicht blos eine Bewegung mit einer bestimmten Schwingungszahl, sondern dass in einem Klang zugleich noch eine ganze Reihe von andern Schwingungen enthalten sind, deren Schwingungszahlen ganze Vielfache der ersten sind. Die Tonhöhe eines Klanges ist durch die Schwingungszahl des Grundtones bestimmt. Ausserdem aber vollführt jedes Theilchen noch eine Menge von Schwingungen mit andern Schwingungszahlen, die Helmholtz Obertöne nennt und diese bringen eben die Farbe der Klänge hervor. Es können in einem Klang viele dieser Obertöne vorhanden sein, in einem andern weniger, es können aus der Reihe der Obertöne einige fehlen, einige verhältnissmässig stärker sein als die anderen, alles dieses bringt die verschiedene Färbung der Klänge hervor. Alle diese Umstände müssen sich aber auch bei der telephonischen Uebertragung des Schalles erhalten. Denn wenn ein Theilchen in complicirter Weise hin- und herschwingt, mit bald grösserem, bald geringerem Ausschlag, bald rascher, bald langsamer, so werden ganz analog dieser Schwingungsart auch die elektrischen Ströme in gleicher Weise verändert und daher muss die Eisenplatte des zweiten Telephons auf der Empfangsstation in ganz gleicher Weise complicirte Schwingungen machen. Die Schwingungen dieser Eisenplatte theilen sich dann der umgebenden Luft mit und so

muss man an der Empfangsstation die Töne und Worte in gleicher Tonhöhe, gleicher Klangfarbe und entsprechender Stärke hören.

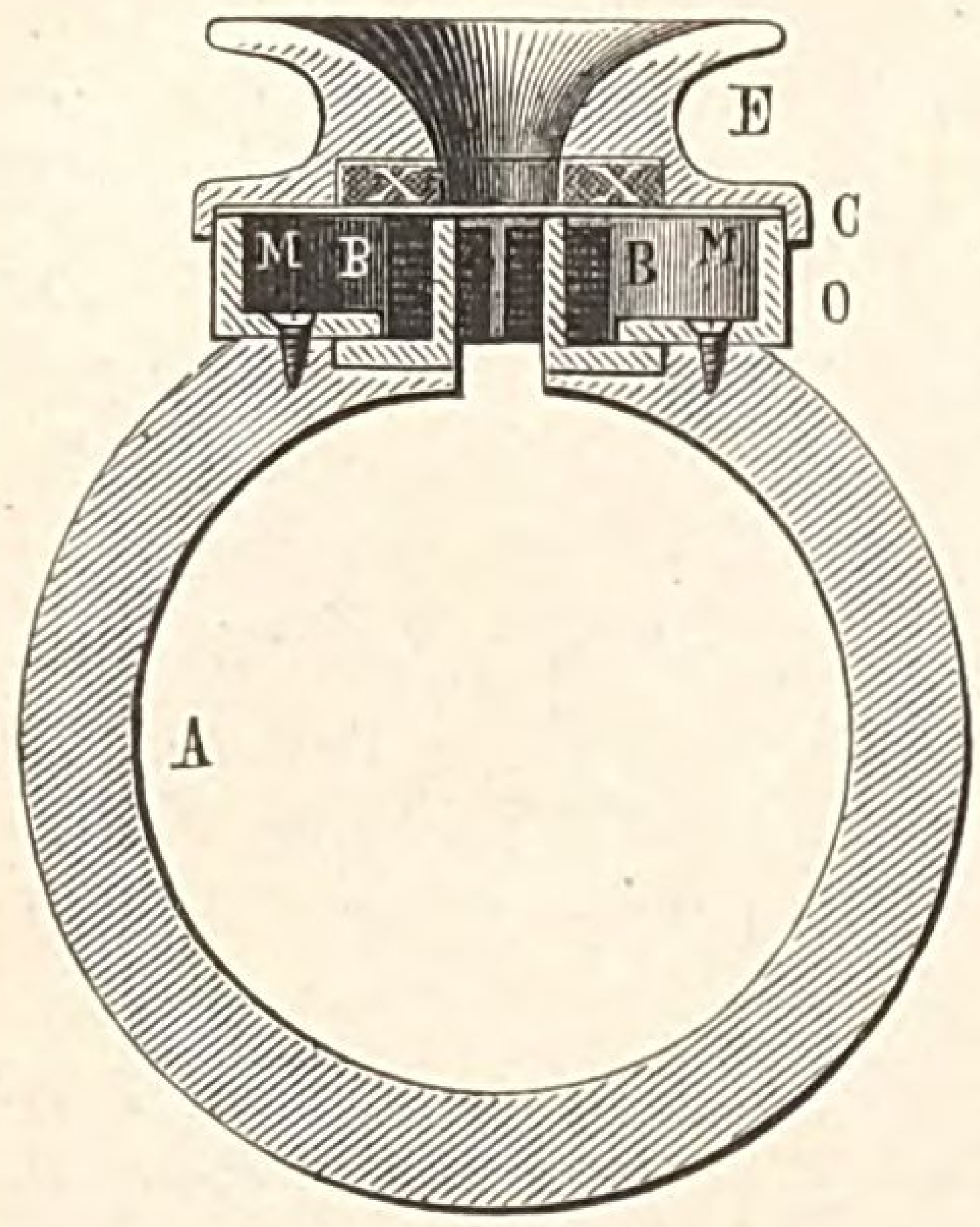
In entsprechender Stärke. Denn die Stärke des an der Empfangsstation wiedergegebenen Tones muss nothwendigerweise eine viel geringere sein als die Stärke des an der Aufgabestation hineingesprochenen Tones. Die Energie der mechanischen Bewegung der Lufttheilchen, welche in Schwingungen versetzt sind, muss sich ja zuerst der Eisenplatte mittheilen, wodurch schon ein grosser Theil verloren geht. Durch die Umsetzung der mechanischen Energie in elektrische geht wieder ein Theil verloren und durch die Rückumsetzung der elektrischen Energie in Bewegungsenergie tritt ein neuer Verlust ein. Daher ist es klar, dass der ankommende Schall auf der zweiten Station viel geringere Stärke haben muss, als der aufgegebene, wenn man nicht besondere Hülfsmittel anwendet, um ihn wieder zu verstärken.

Trotz dieser vielen Verluste liess sich aber doch mit dem einfachen Bell'schen Telephon Stimme und Sprache recht vernehmlich übertragen. An der Aufgabe- und Empfangsstation waren die Telephone ganz gleich eingerichtet. Ein jeder diente zugleich als Tonsender und als Tonempfänger. Je grösser der Abstand zwischen beiden Stationen ist, desto grösser ist der einzuschaltende Widerstand der Drahtleitung, desto geringer wird also die Stromstärke und desto geringer die Wirkung des Telephons. Es liess sich deshalb das Bell'sche Telephon nur auf kurze Strecken, einige hundert Meter weit, benutzen, und gab dabei auch noch recht leise und nur bei voller Ruhe verständliche Töne. Nichts desto weniger hatte das Bell'sche Telephon unwiderleglich die Möglichkeit bewiesen, den Schall auf elektrischem Wege zu übertragen, und es kam jetzt nur noch darauf an, die Wirkungen zu verstärken. Ein sehr nahe liegendes Mittel dazu wurde auch sofort von Siemens & Halske angewendet. Sie brachten in dem Gehäuse des Telephons nicht einen Stabmagneten, sondern einen kräftigen Hufeisenmagneten an, dessen Pole mit Polschuhen versehen wurden, die ganz eng an einander standen und mit einer Drahtspule so umwickelt wurden, dass die in ihnen gleichzeitig erzeugten entgegengesetzten Ströme sich gegenseitig verstärkten. Den Hufeisenmagneten befestigten sie unten an einer feinen Schraube, durch welche er der Eisenplatte genähert oder von ihr entfernt werden kann, damit man die möglichst grösste Wirkung erhält. Die Siemens'schen Telephone zeichnen sich durch erhebliche Tonstärke aus und erlauben auf viel weitere Entfernungen zu sprechen, als die ursprünglichen Bell'schen. Im Uebrigen muss man bei Siemens ebenso, wie bei Bell und bei allen anderen bisher construirten Telephonen das Telephon direkt an das Ohr nehmen, um zu hören.

Die Hufeisenform des Magnets erwies sich so zweckmässig, dass sie auch bei andern Telephonconstruktionen angewendet wurde. Clément Ader hat diese Construktion in echt französischer Weise sehr elegant ausgeführt. Der Hufeisenmagnet ist nämlich bei ihm ringförmig gebogen, wie es Fig. 322 bei A zeigt und dient direkt sls Griff für das Telephon. Seine Pole B B sind mit der Drahtspirale umgeben und

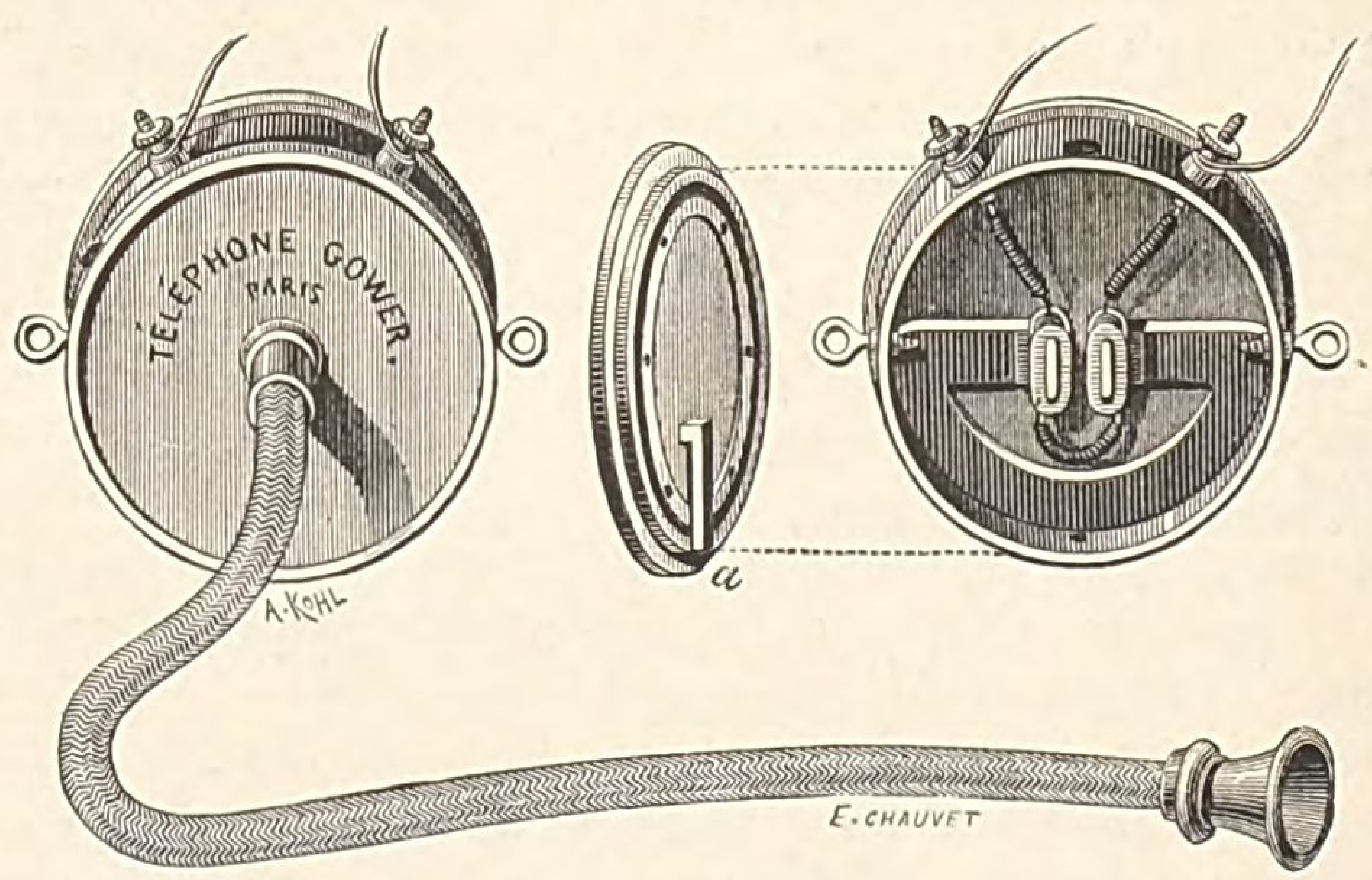
über ihnen befindet sich die Eisenmembran. Darüber aber hat Ader noch eine Eisenplatte XX in das Mundstück des Telephons eingeführt, welche von den Polen ebenfalls magnetisch inducirt wird und welche dadurch die Schwingungen der Eisenmembran verstärken soll. Ader nennt diese Platte die „Erregerplatte“. Die Oeffnung des Mundstücks durchsetzt diese Platte. Das Telephon von Ader ist in Frankreich fast allgemein eingeführt und wird mit geringen Modifikationen auch in Deutschland immer mehr gebraucht.

Fig. 322.



Auch bei dem Telephon von Gower, das in Fig. 323—325 abgebildet ist, ist ein Hufeisenmagnet angewendet. Dieser sitzt halbringförmig in einer Büchse, wie Fig. 325 zeigt, und seine mit den Drahtspulen umwickelten Pole haben ihre Polflächen nach oben gerichtet. An dem Deckel der Büchse befindet sich die schwingende Eisenmembran und in die Schallöffnung des Deckels ist ein Schlauch mit einem Mundstücke gesteckt, in welchen man hineinspricht und durch welchen die Platte in kräftige Schwingungen kommt. Die

Fig. 323. Fig. 324. Fig. 325.



äussere Ansicht des Telephons giebt Fig. 323. An der Membran selbst auf der Seite, die den Polen zugewendet ist, sitzt eine kleine Zungenpfeife (Fig. 324), welche ebenfalls durch den Schlauch angeblasen wird und welche dazu dient, den ersten Anruf vernehmbar zu machen, ohne dass jemand das Empfangstelephon am Ohr hat. An der Empfangsstation, wo das Telephon zum Hören dient, wird der Schlauch ans Ohr gehalten.

In allen den bisher beschriebenen Telephonen geschieht das Sprechen sowohl wie das Hören durch zwei ganz gleich eingerichtete Apparate. Die durch die Induktionswirkungen in dem einen Telephon

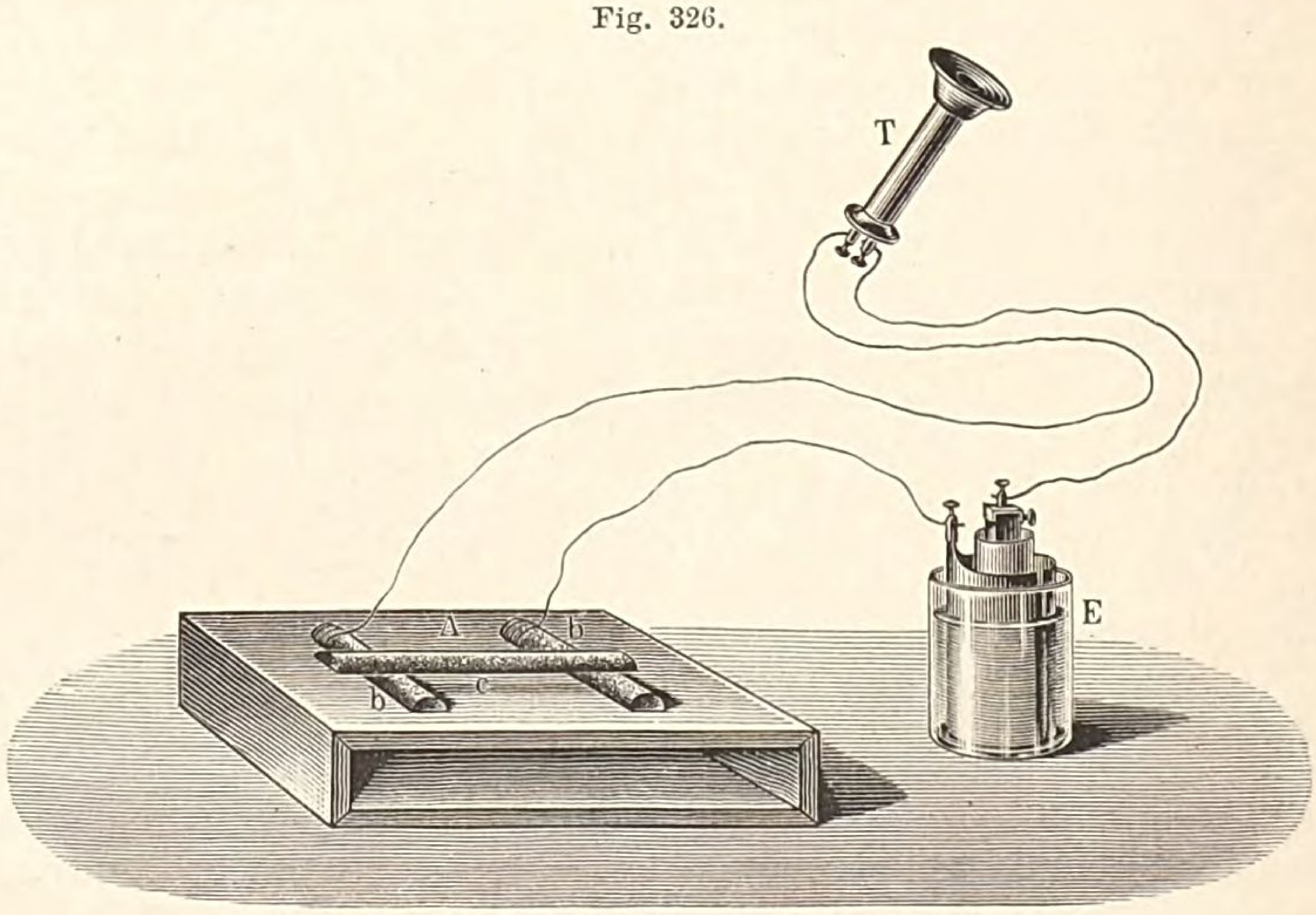
erzeugten Ströme dienen ganz direkt dazu, um das zweite Telephon in Thätigkeit zu setzen. Die Schallenergie, die man in das erste Telephon hineingiebt, setzt sich in andere Formen der Energie um und wird schliesslich wieder zu Schallenergie. Die Verluste an Energie, die auf diesem Wege entstehen, müssen nothwendig den Schall an der zweiten Station erheblich schwächen.

Wenn man nun bewirken könnte, dass man dem System der beiden Telephone noch andere Energie von aussen zuführen könnte, etwa die elektrische Energie eines galvanischen Stromes, so hätte man dadurch ein Mittel, um den Verlust bei der Umwandlung compensiren oder wenigstens geringer machen zu können. Es ist nur die Frage, ob dies ausführbar wäre. Es ist dies in der That möglich geworden durch das von Hughes erfundene Mikrophon. Die Wirkungsweise des Telephons verlangt ja im Grunde weiter nichts, als dass durch die hineingegebenen Töne periodische Schwankungen in der Stromstärke eintreten, welche dann durch die Anwendung von Magneten wieder in periodische Bewegungen umgesetzt werden. Bei dem einfachen Telephon werden aber durch die hineingesprochenen Worte nicht blos Aenderungen in der Stromstärke erzeugt, sondern die Ströme werden selbst erst dadurch hervorgebracht. Es ist das offenbar überflüssig. Wenn man von vornherein einen Strom hat, z. B. durch ein galvanisches Element erzeugt, so braucht man durch die Worte und Töne nur Stromschwankungen hervorzurufen und kann dann diese wieder sich in Worte umsetzen lassen. Dies hat Hughes durch Anwendung von variablen Contakten an Kohlenstäben erreicht.

Die Kohle hat, wie wir wissen, einen sehr erheblichen Leitungswiderstand. Wir wissen aber auch (S. 73), dass dieser Widerstand sich durch Druck sehr erheblich ändert. Die Idee von Hughes bestand nun darin, durch die Schallbewegungen zwei Kohlenstäbchen, die in einem Stromkreis sind und sich gerade eben berühren, in engere und weitere Berührung mit einander zu bringen und so die Stromstärke in dem Stromkreis in erhebliche Schwankungen zu versetzen. Man kann sehr leicht zeigen, dass man durch ganz geringe Veränderungen des Druckes zweier Kohlen auf einander sehr erhebliche Stromschwankungen bekommt und dass man dadurch ein Telephon zum lauten Tönen bringen kann. In Fig. 326 a. f. S. ist eine Vorrichtung dazu abgebildet. Von einem Element E geht ein Strom durch eine Kohle b, dann durch die leise darauf gelegte Kohle c zu der anderen Kohle b, durchläuft dann die Windungen des Telephons und kommt zum Element zurück. So lange das Kohlenstäbchen c ganz ruhig auf b b liegt, hört man natürlich nichts, weil ja die Stromstärke unverändert bleibt. Die leiseste Bewegung von c aber, z. B. schon eine Bewegung, die dadurch hervorgebracht wird, dass eine Fliege auf dem Kästchen A geht, bringt sofort ganz erhebliche Stromschwankungen hervor und in Folge dessen wird der Magnet des Telephons verstärkt und geschwächt und man hört im Telephon ein lautes Geräusch. Diesen Apparat, ein Paar lose sich berührender Kohlen, auf einer Schallmembran befestigt, nennt man ein Mikrophon.

Hier hat man also ein einfaches Mittel, um in einem Telephon ganz erhebliche Stromschwankungen hervorzubringen. Man braucht eben nur einen galvanischen Strom von einem Element durch ein Telephon und ein Mikrophon zu senden und dann gegen das Mikrophon zu sprechen, um in dem Telephon die Töne in ganz erheblicher Stärke reproducirt zu erhalten. Der Unterschied der Hughes'schen Anordnung von der Bell'schen ist also ein doppelter. Bei der Bell'schen Telephoneinrichtung werden zwei gleiche Apparate zum Sprechen und Hören benutzt. Der T o n s e n d e r, oder wie man auch häufig sagt, der T r a n s m i t t e r, und der T o n e m p f ä n g e r sind beide einfache Telephone. Bei der Hughes'schen Anordnung ist der Transmitter nicht ein Telephon, sondern ein Mikrophon. Der zweite Unterschied ist der, dass man bei der Bell'schen Anordnung kein galvanisches Element braucht.

Fig. 326.

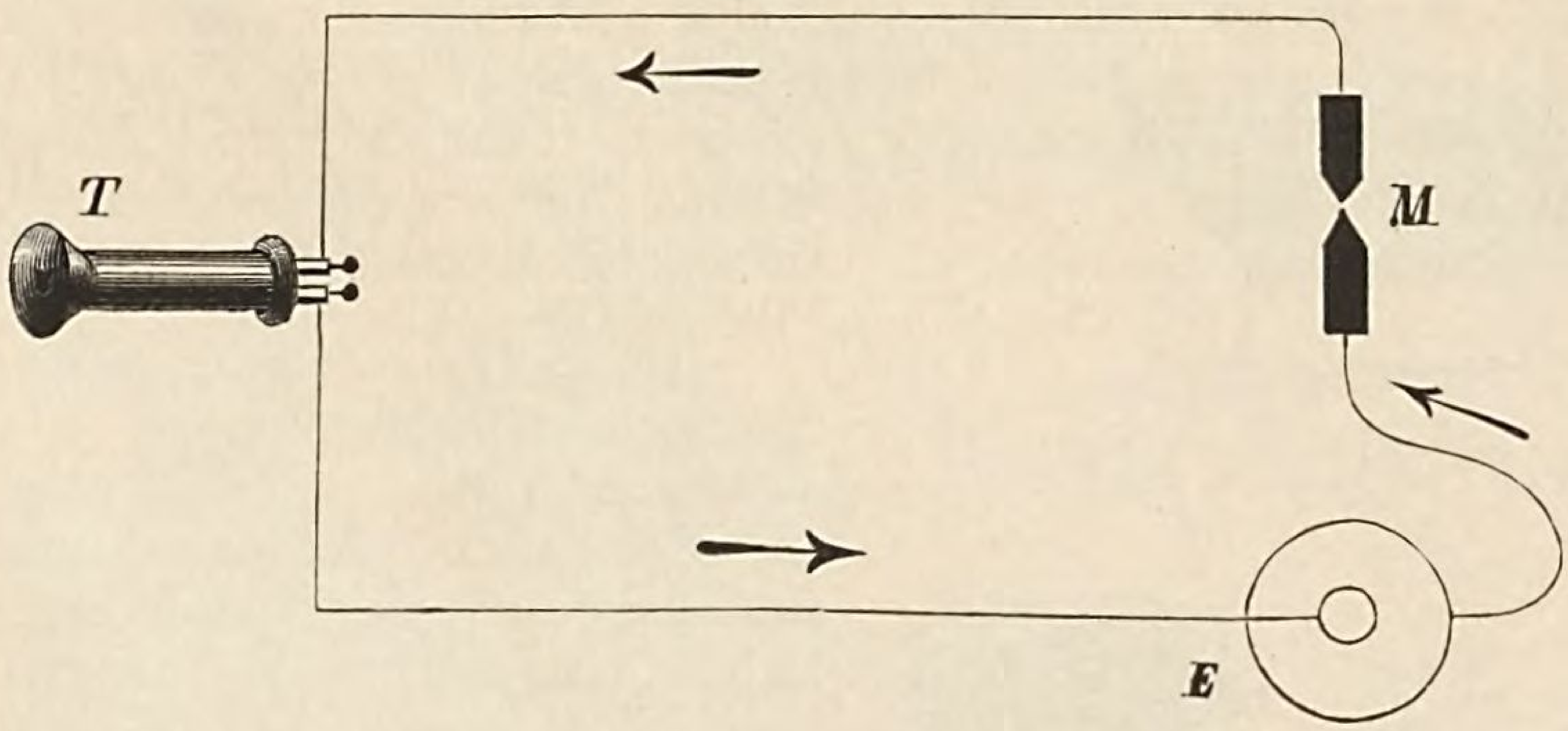


Durch das Sprechen werden im ersten Telephon Induktionsströme erregt und diese bringen das zweite Telephon in Thätigkeit. Bei der Hughes'schen Anordnung dagegen muss das Mikrophon in einem Stromkreis liegen, durch den ein Strom von einem Elemente fliesst. Das Sprechen dient nur dazu, die Stärke dieses schon vorhandenen Stromes in bestimmter Weise zu verstärken und zu schwächen.

Eine sehr wesentliche und wichtige Aenderung kann man sehr leicht an der Anordnung anbringen, wie wir sie eben beschrieben haben. Wir nahmen an, dass der Strom von einem Element der ersten Station, der Aufgabestation, durch das Mikrophon dieser Station, dann durch die Leitung zur zweiten Station und dort durch das Telephon dieser Station fliesst und durch die Leitung zur ersten Station zurückkekrt. Diese Anordnung wäre also eine solche, wie sie in Fig. 327 gezeichnet ist. Der Strom fliesst vom Element E durch das Mikrophon M, direkt durch die Spirale des Telephons T der zweiten Station und dann zurück.

Dabei wird also das Telephon der zweiten Station stets von dem Strome durchflossen, der von dem Element E durch die Leitung gesendet wird. Man kann aber das Telephon der Empfangsstation auch aus diesem Stromkreis entfernen, indem man nicht den ursprünglichen Strom des Elements direkt durch die Telephonspirale sendet, sondern

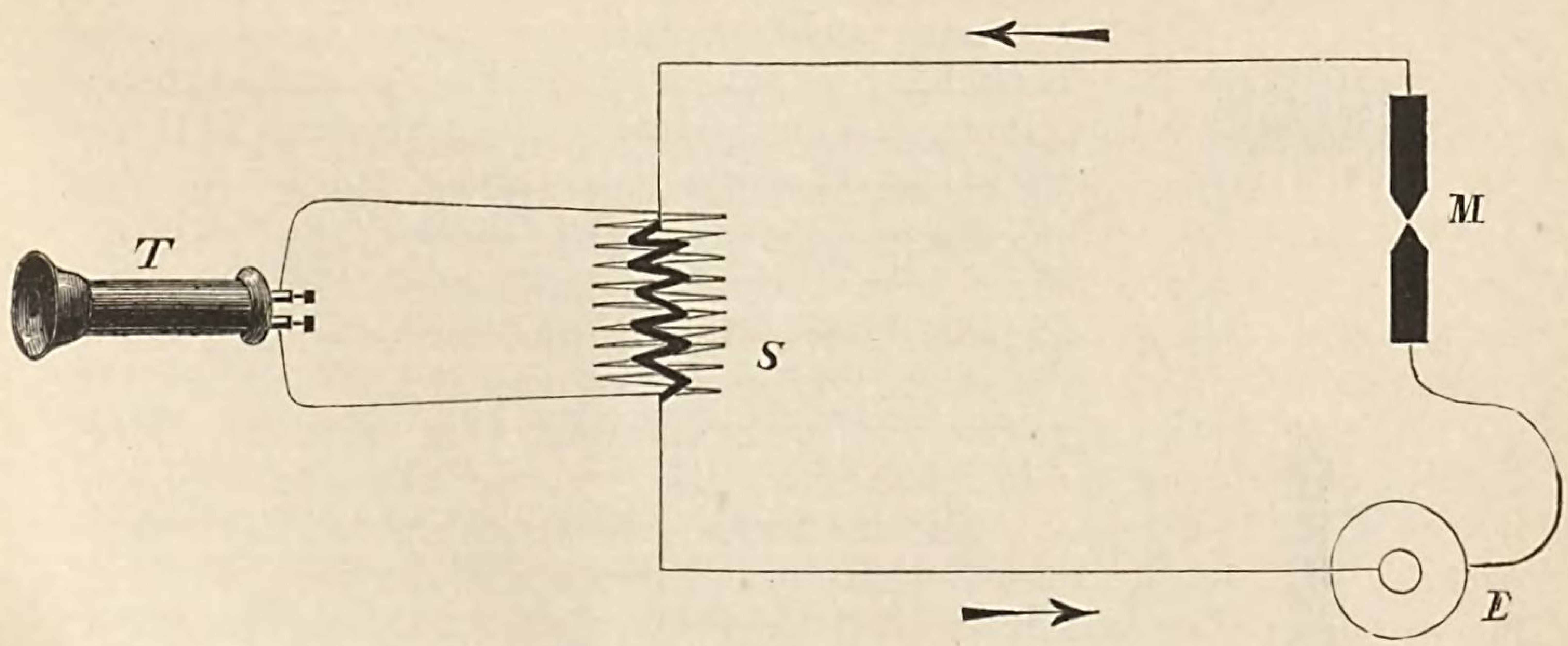
Fig. 327.



vielmehr durch die Schwankungen dieses Stromes in dem Telephon Induktionsströme erzeugen lässt. Dadurch erzielt man den Vortheil, dass die Stromschwankungen im Telephon viel kräftiger sind und dadurch das Telephon noch besser zum lauten Tönen erregt wird. Ausserdem lassen sich bei dieser Anordnung die Verbindungen mehrerer Stationen auf sehr einfache Weise herstellen.

Bei dieser Einrichtung fliesst also der Strom vom Element durch das Mikrophon, dann durch die Leitung zur zweiten Station und dort

Fig. 328.

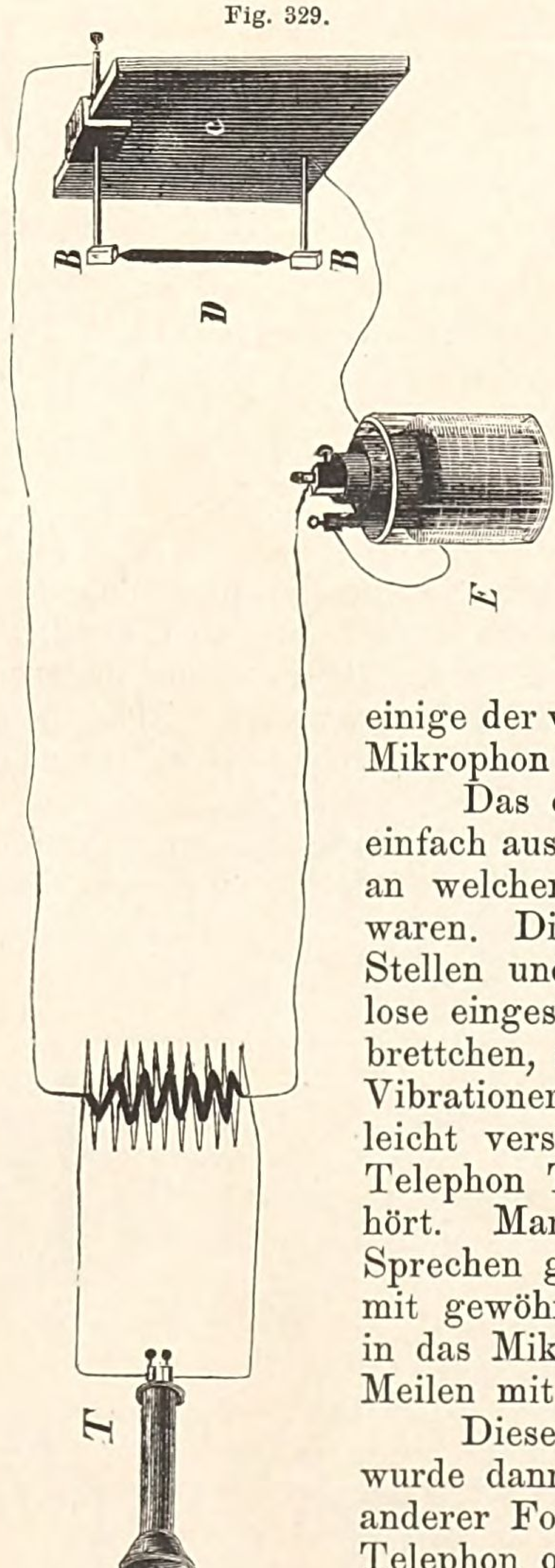


einfach durch eine primäre Induktionsspirale hindurch und von dieser zur ersten Station zurück. Um die primäre Induktionsspirale ist dann, getrennt, eine sekundäre Induktionsspirale gewunden, in welcher die Induktionsströme erregt werden, und diese ist mit dem Tele-

phon der zweiten Station verbunden. Diese Anordnung ist in Fig. 328 gezeichnet.

Bei S ist die primäre Induktionsspirale stark gezeichnet, die sekundäre, die mit dem Telephon verbunden ist, schwach. Der Strom geht vom Element E durch das Mikrophon M und die primäre Spirale S nach E zurück. Die Stromschwankungen in dieser Spirale erzeugen in der sekundären Spirale inducirte Ströme und diese gehen durch das Telephon T der zweiten Station, verstärken oder schwächen den Magneten desselben und bringen es dadurch zum Tönen.

Fig. 329.



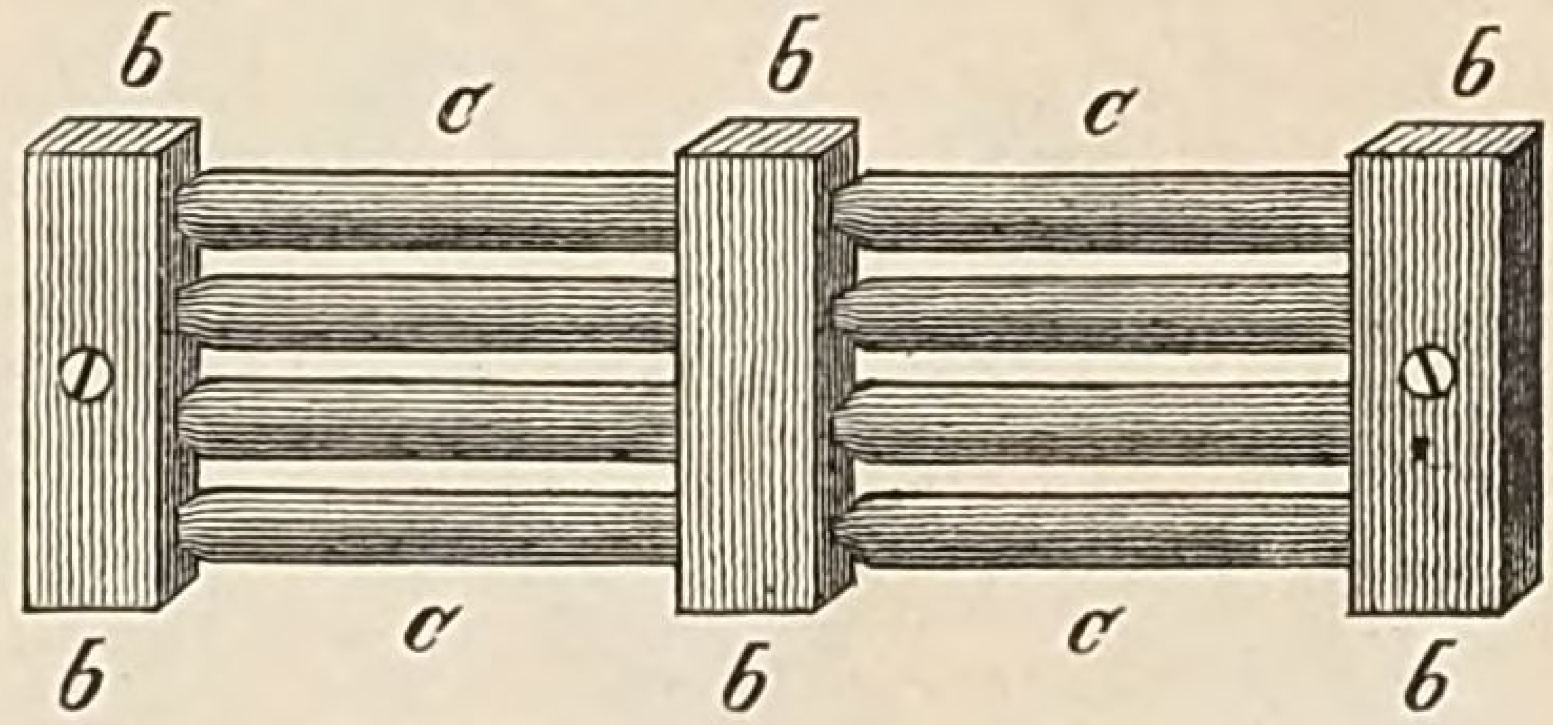
Da auf jeder Station gesprochen und gehört werden muss, so muss auf jeder Station ein Telephon und ein Mikrophon vorhanden sein. Es sind dann auf jeder Station auch zwei Induktionsspiralen, eine primäre und eine sekundäre nothwendig. Bevor wir die Verbindungen dieser Apparate, wie sie sich bei wirklichem Betrieb als zweckmässig herausgestellt haben, untersuchen, wollen wir erst einige der verschiedenen Formen, welche man dem Mikrophon bisher gegeben hat, kennen lernen.

Das erste Mikrophon von Hughes bestand einfach aus einem Resonanzbrettchen c in Fig. 329, an welchem zwei Kohlenstücke B B angebracht waren. Diese hatten kleine Vertiefungen an zwei Stellen und in diese war ein Kohlenstäbchen D lose eingestellt. Sprach man gegen das Resonanzbrettchen, so kamen die Kohlen in entsprechende Vibrationen und durch die nach dem Früheren leicht verständliche Verbindung wurden in dem Telephon T der zweiten Station die Worte gehört. Man brauchte dabei die Stimme beim Sprechen gar nicht anzustrengen, sondern konnte mit gewöhnlicher Stärke aus einiger Entfernung in das Mikrophon sprechen und doch auf einige Meilen mit Leichtigkeit den Schall übertragen.

Dieses einfache Kohlenmikrophon von Hughes wurde dann von anderen Construkteuren in etwas anderer Form angewendet. Ader z. B., dessen Telephon oben beschrieben ist, führte ein Mikrophon aus, welches in Fig. 330 gezeichnet ist. Er benutzte statt eines beweglichen Kohlenstäbchens deren acht oder zehn. Auf dem Holzdeckel eines Kastens sind drei dickere Kohlenstäbchen b b befestigt, zwischen welchen je vier Kohlenstäbchen c c lose aufliegen. Spricht man gegen den Deckel des Kastens, so kommen

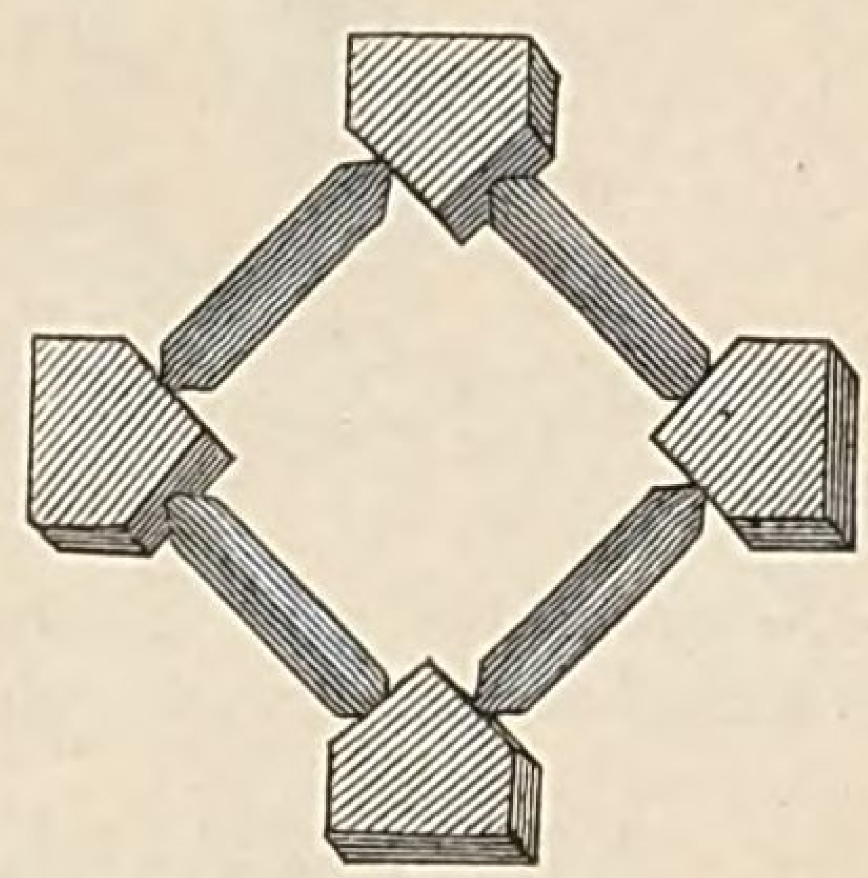
die Kohlenstäbchen alle in Schwingungen und bringen dadurch erhebliche Stromschwankungen hervor. Der Strom wird von dem Element in die eine äussere Kohle b b eingeführt und geht von der anderen äusseren Kohle in die primäre Spirale und von dieser zurück zum Element. Das Ader'sche Mikrophon hat den Vortheil, dass es dem ankommenden Schall eine ausgedehnte Fläche bietet, so dass man nicht nur gegen eine kleine Schallöffnung zu sprechen braucht. Deswegen eignet sich dasselbe besonders gut zur Musikübertragung, weil die Schallwellen aus den Instrumenten nicht concentrirt zu werden brauchen, sondern direkt auf das Mikrophon wirken können.

Fig. 330.



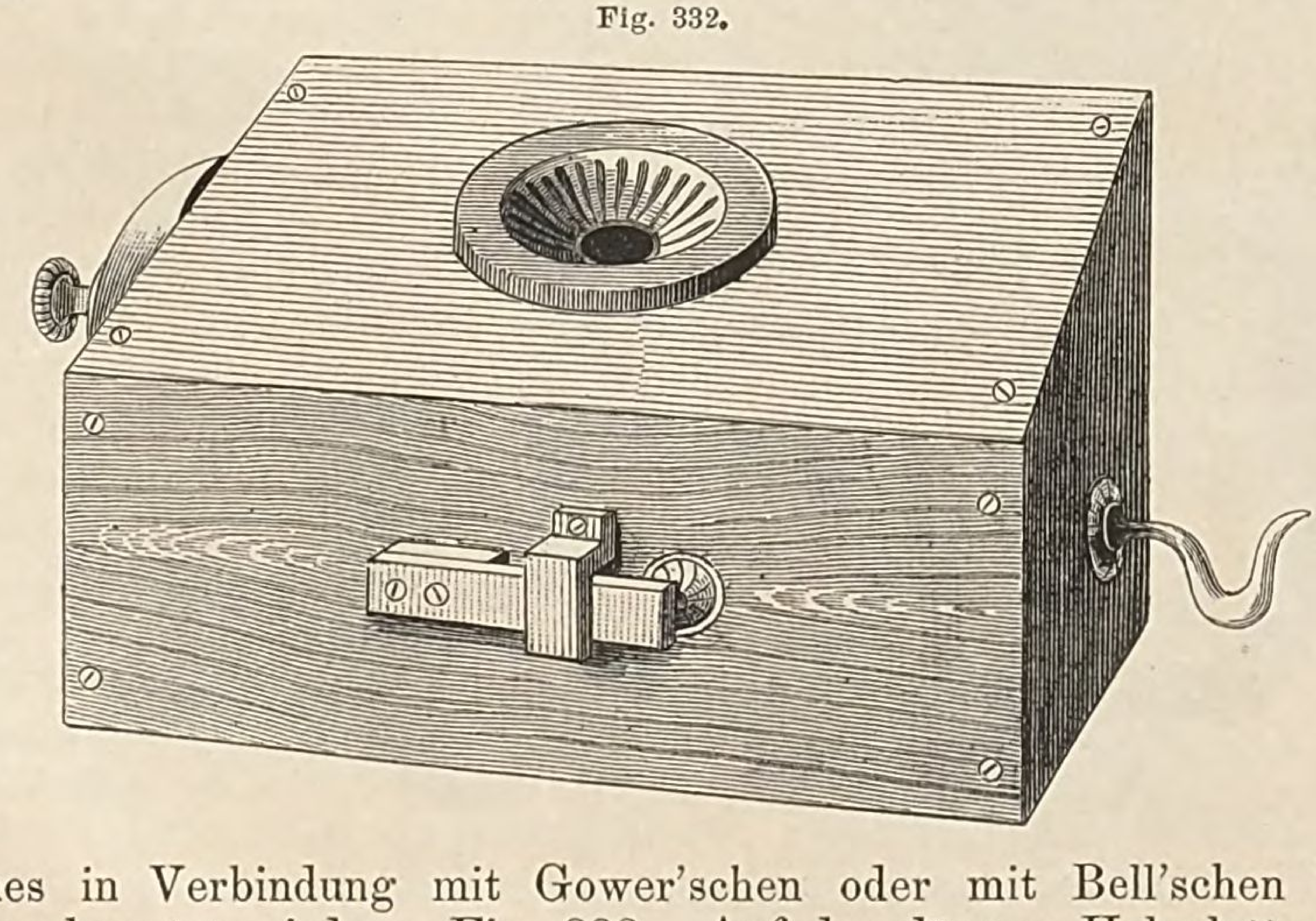
In ähnlicher Weise suchen auch andere Construktionen durch Vergrösserung der Anzahl der Berührungsstellen ausgiebigere Stromschwankungen hervorzurufen. So sind in dem Mikrophon von Crossley (Fig. 331) vier Kohlenstäbchen im Carré zwischen vier Kohlenstücken lose eingelegt und das ganze System auf einer Holzplatte befestigt, welche den Deckel eines Kastens bildet (Fig. 332). In dem Kasten liegen die Induktionsspiralen, und an dem Deckel befindet sich ein Schalltrichter, damit man direkt gegen die Kohlenstäbchen sprechen kann.

Fig. 331.



Aehnlich ist das viel benutzte Mikrophon von Gower eingerichtet,

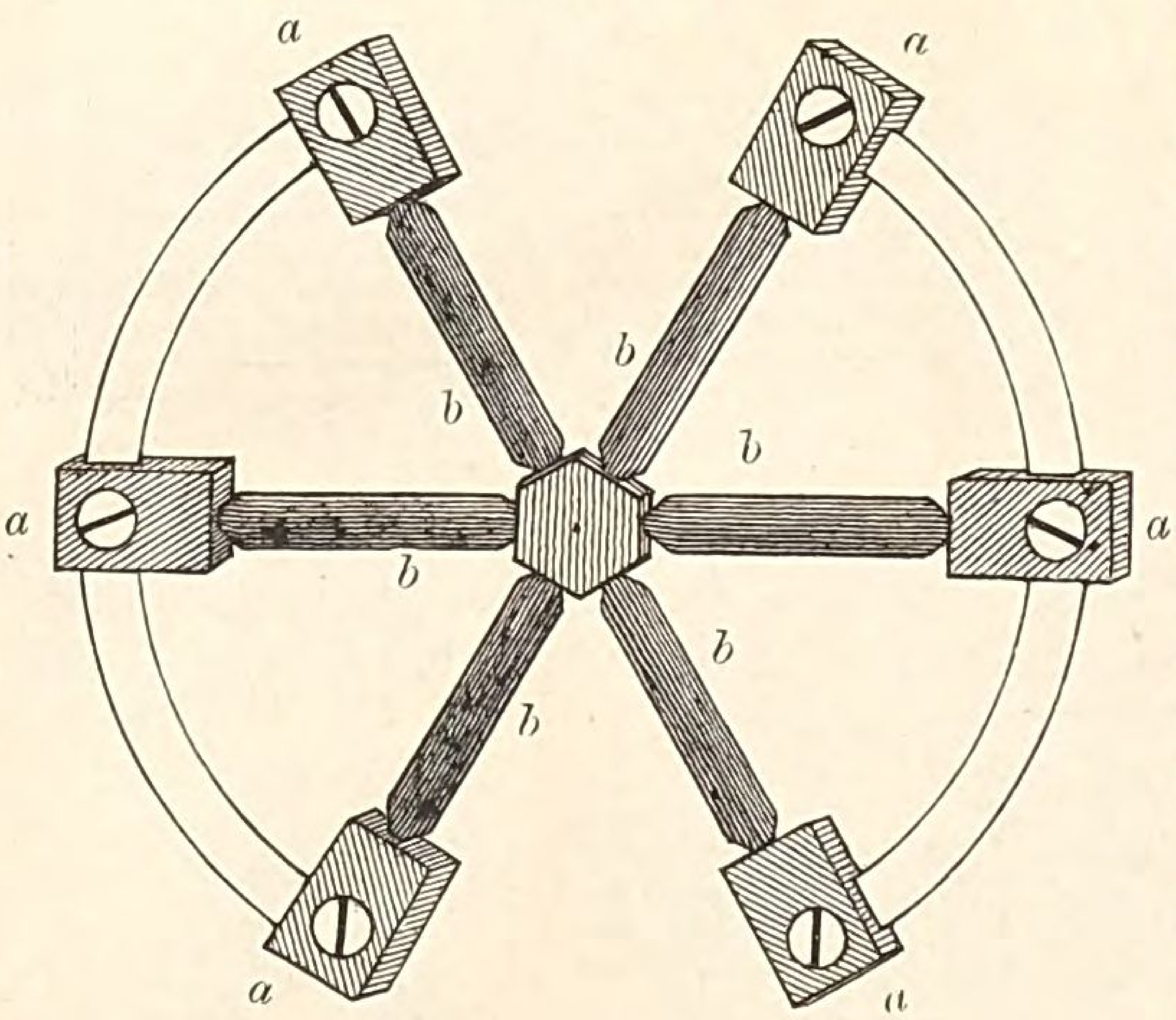
Fig. 332.



welches in Verbindung mit Gower'schen oder mit Bell'schen Telephonen benutzt wird, s. Fig. 333. Auf der dünnen Holzplatte eines

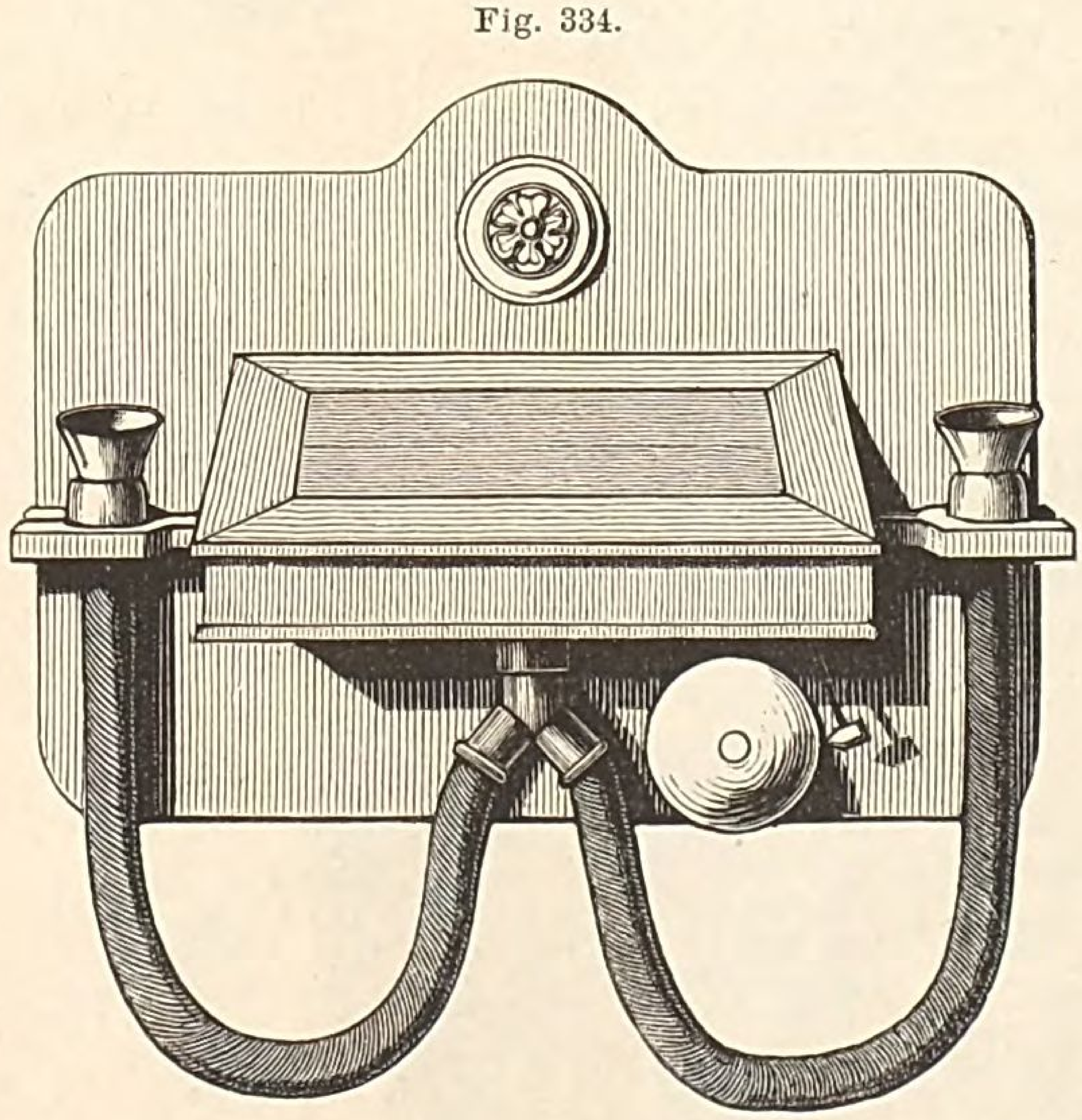
Kästchens sind sechs Kohlenstückchen a a im Kreise befestigt, von denen je drei in leitender Verbindung mit einander sind. Im Mittelpunkt des Kreises befindet sich ebenfalls ein Kohlenstückchen mit sechs kleinen seitlichen Löchern und von diesen aus gehen sechs lose eingesetzte Kohlenstäbchen b b nach dem Rande zu in die dort befindlichen Kohlen. Der Strom wird zwei einander gegenüberliegenden Kohlen vom Element zugeführt und in die Leitung wird die primäre Spirale eingefügt. Die äussere Ansicht des Gower'schen Mikrophons ist in Fig. 334 gegeben, wobei für das im Kasten liegende Telephon ein doppeltes Hörrohr angebracht ist.

Fig. 333.



In der äusseren Ansicht abweichend, aber im Princip ziemlich gleich gebildet ist endlich das Mikrophon von Boudet, das in Fig. 335 abgebildet ist. In demselben befinden sich sechs genau gleich grosse, sorgfältig abgedrehte Kugeln aus Kohle, welche mit sehr geringem Spielraum in einer Glasröhre liegen. Durch die Metallschraube V kann man die Berührung der Kohlen reguliren. Bei einem Widerstand von 20 Ohm soll das Boudet'sche Mikrophon Widerstandsschwankungen von 2 Ohm durch die menschliche Stimme geben.

Fig. 334.



Bei allen bisher beschriebenen Mikrophonen ist die eine Kohle beweglich, die andere fest. Daraus ergiebt sich aber ein Uebelstand. Durch jede, auch nicht beabsichtigte, Bewegung wird dabei die Berührung der beiden Kohlen verändert und es ertönt dann stets das Telephon. Eine jede kleine Aenderung der Temperatur z. B. bringt schon eine veränderte Innigkeit des Contaktes hervor und man hört dadurch stets im Telephon ein unangenehmes Krachen. Dies liess sich dadurch vermeiden, dass

man die beiden sich berührenden Stücke beweglich machte, so dass sie stets in gleichem Contakt mit einander sind, und dass nur das Hineinsprechen diesen Contakt verändert. Dieses Princip ist bei den neueren Mikrophonen angewendet, zuerst von Blake, der ein Mikrophon construirte, welches in Verbindung mit Bell-schen Telephonen sehr gute Resultate giebt. Der Durchschnitt eines Blake'schen Transmitters (Mikrophons) ist in Fig. 336 gezeichnet. Die Schallöffnung E eines Kästchens ist mit einer Eisenmembran a verschlossen. Auf der Eisenplatte ruht durch Kautschuk getrennt und durch die Feder c angedrückt ein kleines Stückchen von Platin. Gegen dieses drückt ebenfalls durch eine Feder d gehalten ein Kohlenstückchen, welches in einer schweren Messinghülse g h sitzt. Das System der beiden Federn ist an dem Rahmen F befestigt, welcher selbst wieder an einer Feder f hängt und durch die Schraube G regulirt werden kann. Sowie die Eisenmembran in Schwingungen versetzt wird, werden Kohle und Platin bald fester, bald weniger fest an einander angedrückt, der Widerstand ändert sich und in dem hindurchgeschickten Strome treten Stromschwankungen auf, entsprechend den hereingesprochenen Worten. Die Stromschwankungen sind also hierbei nicht durch die variable Berührung zweier Kohlenstücke hervorgebracht, sondern durch die Veränderung des Contaktes zwischen Kohle und Platin.

Es kommt ja nur darauf an, den Widerstand eines Stromkreises in bestimmter Weise zu ändern, und dies lässt sich auch dadurch erreichen, dass man ein Kohlenstückchen bald fester,

Fig. 335.

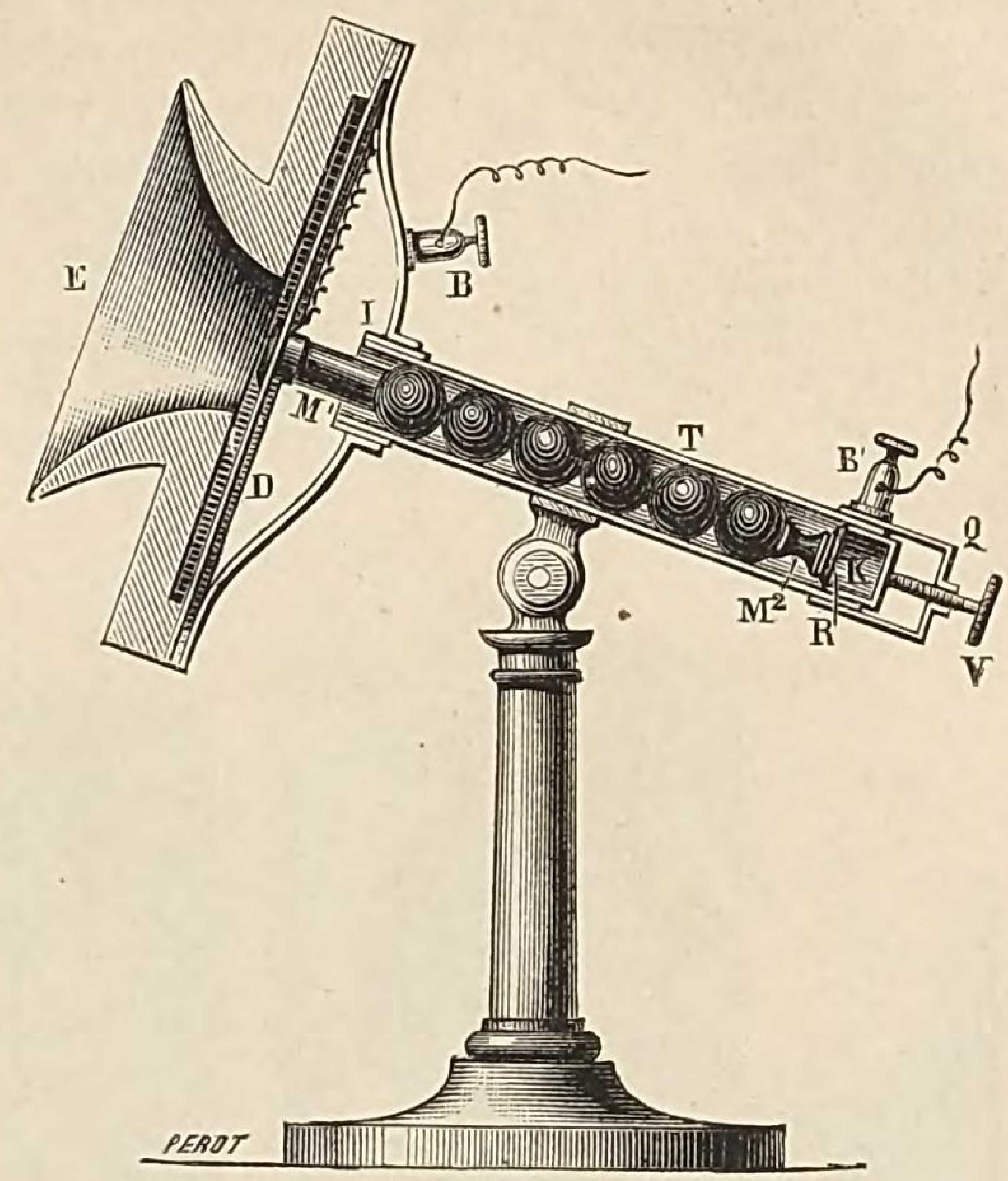
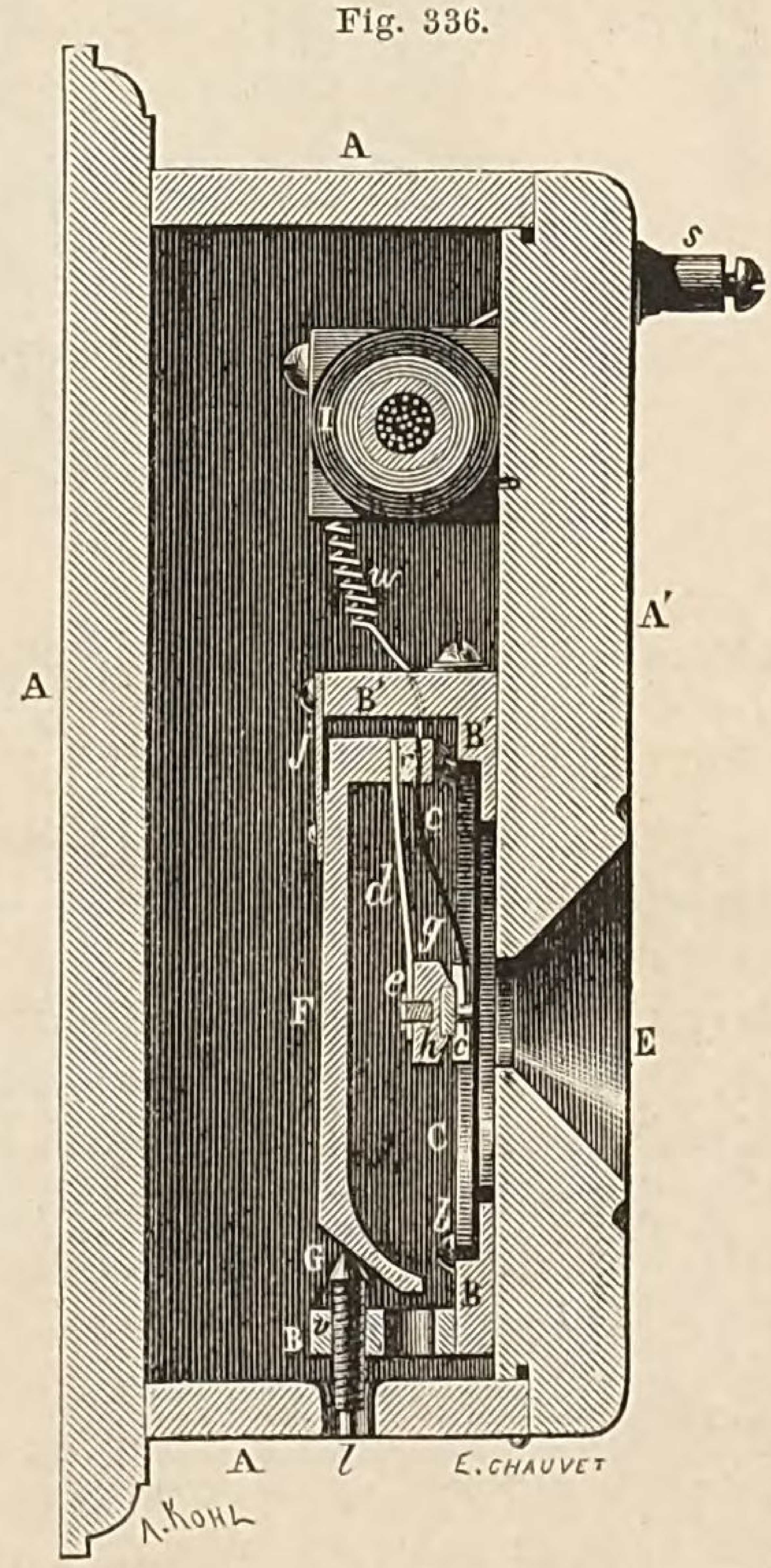


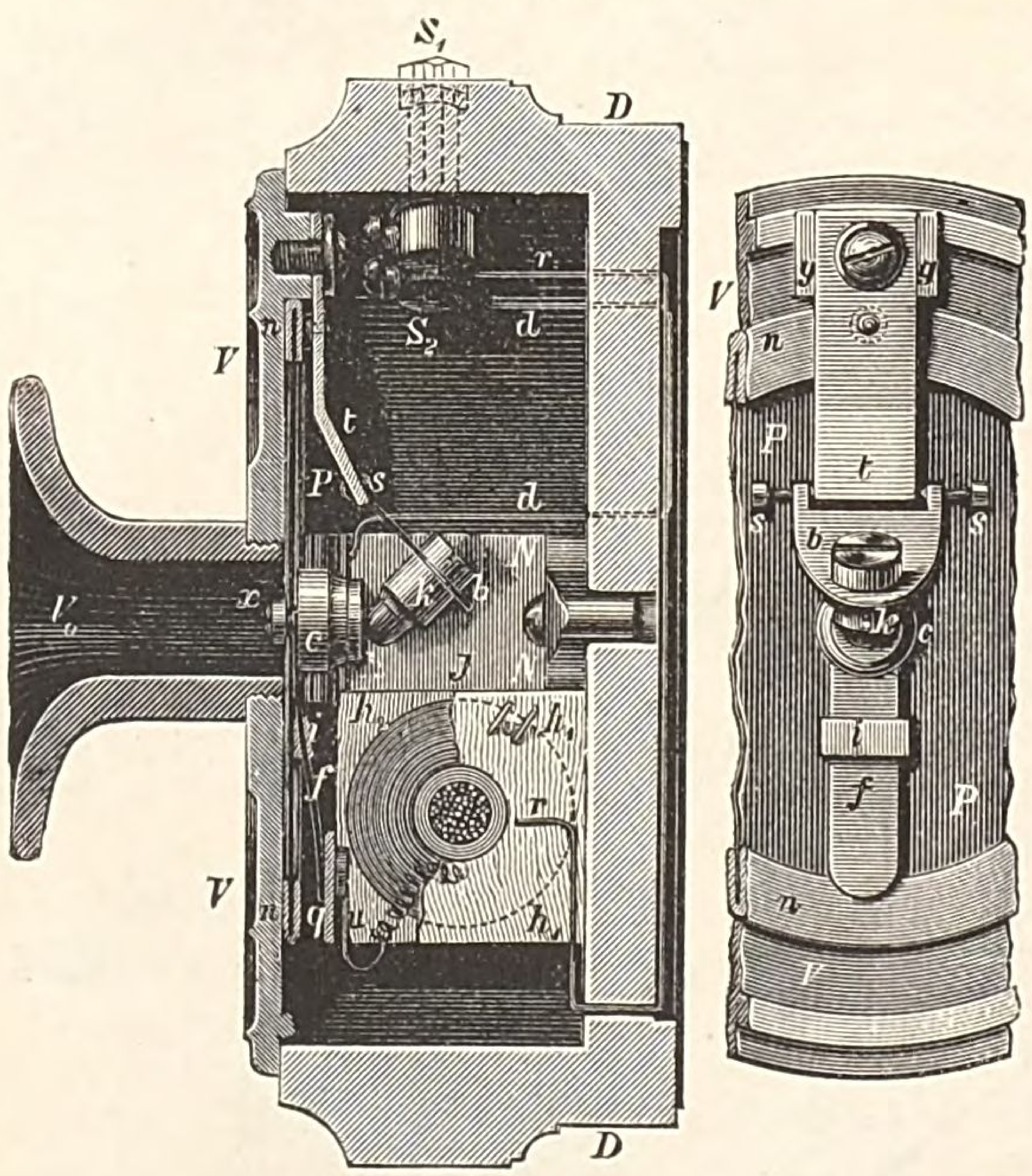
Fig. 336.



bald weniger fest an eine Metallplatte andrücken lässt, während man durch die Kohle und das Metall zusammen einen Strom schickt. Man könnte auch blos zwei Metalle mit veränderlicher Innigkeit sich berühren lassen, aber da der Widerstand der Metalle an sich sehr viel kleiner ist, als der der Kohle, so sind auch die Widerstandsschwankungen dann sehr viel kleiner.

In ähnlicher Weise ist der Transmitter von Berliner eingerichtet. Das Kohlenstückchen k in Fig. 337 ist vorn abgerundet und ruht auf einer Graphitplatte c, welche in die eiserne Schallmembran eingeschraubt, aber von ihr durch einen Kautschukring isolirt ist. Vor der Schallöffnung befindet sich ein kleiner Schalltrichter V_0. Die bewegliche Kohle hängt mittelst eines Messingstreifens an dem Winkelstücke t, in welchem es durch eine Oese s verschiebbar ist, wie die Nebenfigur zeigt. Durch ihr eigenes Gewicht drückt k stets gleichmässig auf c, und nur durch die Schallbewegungen wird dieser Druck periodisch verändert. Der eine Pol des Elements wird an S_2 befestigt und geht durch d und die Kohlen zur primären Induktionsspirale und kehrt dann durch r und S_1 zum Element zurück.

Fig. 337.

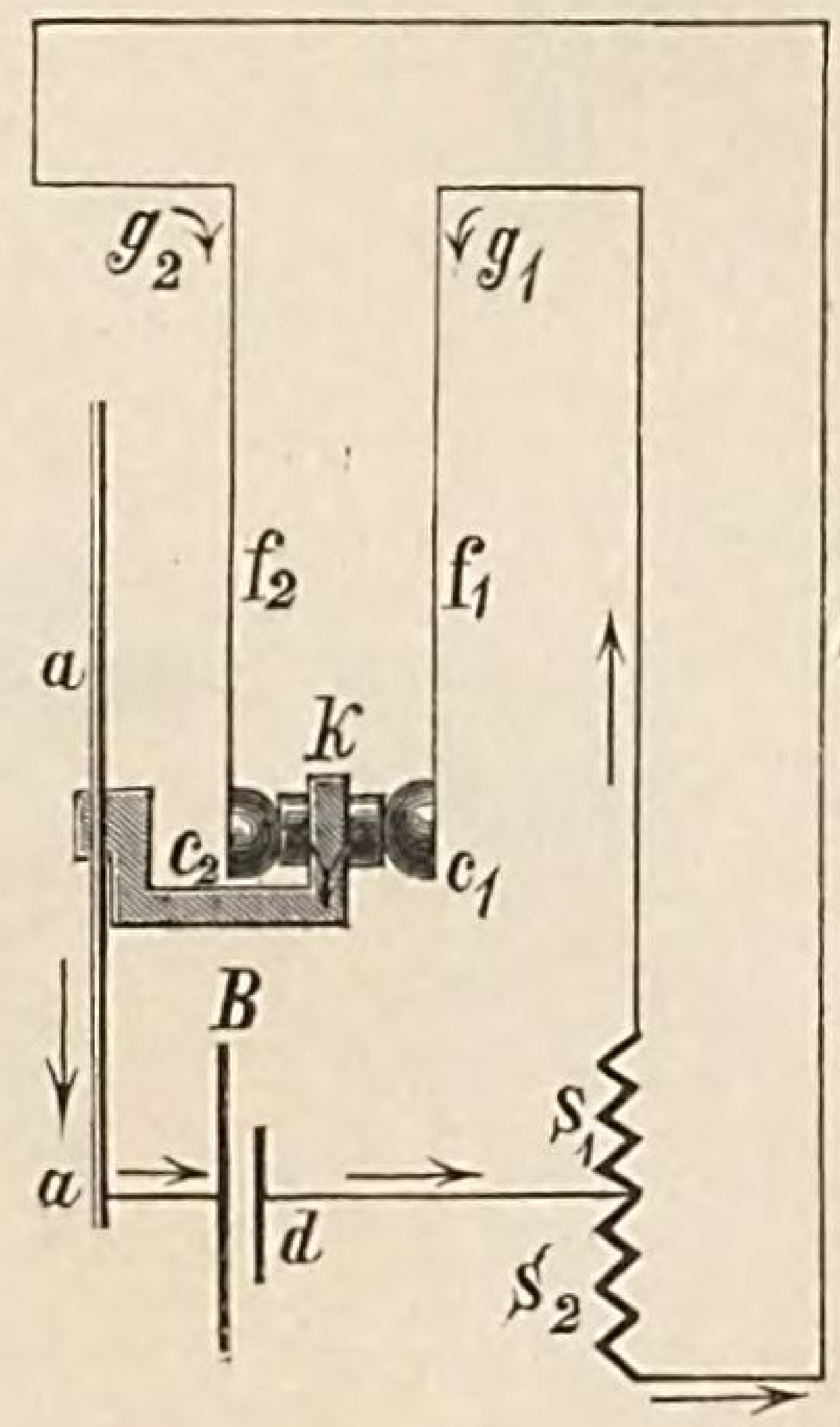


Alle bisher beschriebenen Mikrophone haben die Einrichtung gemeinsam, dass an der Hinterseite der Schallmembran die Kohlen mit variablem Contakt anliegen oder befestigt sind und dass die Durchbiegungen der Platte nach der einen oder anderen Seite beim Tönen diesen Contakt an der Rückseite stärken oder schwächen.

Wenn man erreichen könnte, dass auch auf der Vorderseite der Membran sich ein variabler Kohlencontakt befände und trotzdem die Schwingungsfähigkeit der Membran dieselbe bliebe, so könnte man es offenbar durch passende Schaltung der Ströme dahin bringen, dass jeder Hingang und jeder Hergang der Platte doppelte Stromschwankungen hervorbringt, die sich dann verstärken und so doppelte Tonstärke hervorbringen könnten. Von diesem Gedanken ausgehend, hat in jüngster Zeit v. Laffert ein Mikrophon construirt, das einen wesentlichen Fortschritt in Bezug auf Stärke und Reinheit der wiedergegebe-

nen Töne und Worte zu involviren scheint. Das Schema des Laffertschen Mikrophons ist in Fig. 338 gezeichnet. An der Schallmembran a, gegen welche gesprochen wird, ist ein Querstück von Messing in der Mitte befestigt, welches an allen Schwingungen der Membran Theil nimmt. Dieses Querstück trägt bei k auf jeder Seite ein wohlpolirtes Kohlenstückchen und an diesen wieder liegt je ein abgerundetes Kohlenstück c_1 und c_2 an, welche durch je eine Feder f_1 und f_2, ähnlich wie beim Berliner'schen Mikrophon, gehalten sind. Jede Durchbiegung der Platte a z. B. nach rechts macht daher den Contakt zwischen c_1 und k fester, den zwischen c_2 und k lockerer. In Folge dessen wird in dem Stromkreis $d\,S_1\,g_1\,c_1\,k\,a\,d$ der Strom verstärkt, in dem Stromkreis $d\,S_2\,g_2\,c_2\,k\,a\,d$ der Strom geschwächt (darin ist B ein Element, S_1 und S_2 sind zwei primäre Spiralen). Da der Strom in beiden Spiralen entgegengesetzt fliesst, so hat die Schwächung des einen dieselbe Wirkung wie die Stärkung des andern in Bezug auf die von ihnen inducirten Ströme. In einer sekundären Spirale also, die um S_1 und S_2 gewickelt ist, entstehen doppelt starke Induktionsströme und diese bringen daher auch das Telephon zu sehr kräftigem Tönen.

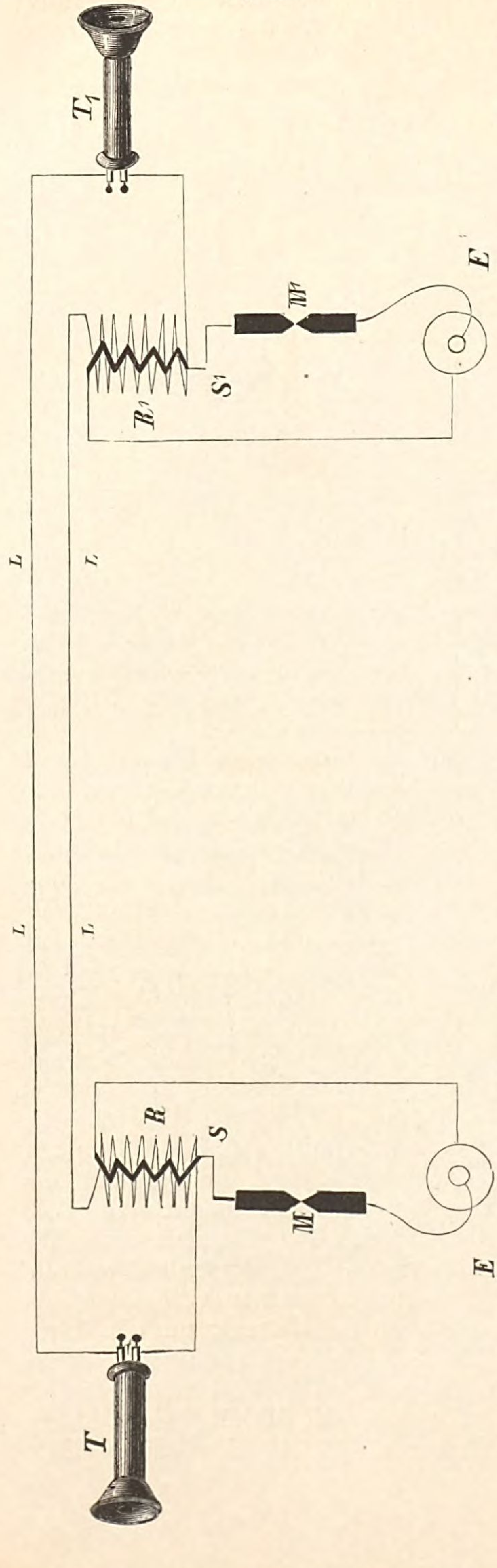
Fig. 338.



Die wesentlichste Bedingung für die Güte eines Mikrophons ist stets die Güte der Kohle. Es wenden die verschiedenen Construkteure verschiedene Mittel an, um die Kohlen möglichst zweckmässig zu präpariren, doch ist die Art dieser Präparirung Fabrikationsgeheimniss.

Sobald man ein Mikrophon anwendet, braucht man nicht mehr zum Hören und Sprechen denselben Apparat, sondern zwei verschiedene. Zum Sprechen das Mikrophon oder den Transmitter, zum Hören das Telephon. Auf geringe Entfernungen, einige hundert Meter oder sogar ein- bis dreitausend Meter ist die Verstärkung der Stromschwankungen durch das Mikrophon ganz unnöthig. Mit gut construirten Telephonen, z. B. besonders mit den Siemens'schen, hört man auf diese Entfernungen sehr deutlich, wenn man auch nur direkt in das Telephon spricht. Will man aber auf weitere Entfernungen sprechen, auf einige Meilen, so ist es nothwendig, sich des Mikrophons zu bedienen. Jede von beiden Stationen muss dann ein Telephon und ein Mikrophon und für das Letztere ein Element haben. Die Verbindung ist dann so, dass in jeder Station das Element durch das zugehörige Mikrophon und die primäre Spirale geschlossen ist, während die beiden Telephone auf beiden Stationen zusammen verbunden sind und die Leitung zugleich auf jeder Station spiralförmig um die Mikrophonspirale herumgeht. In der Fig. 339 sind die primären Spiralen stark gezeichnet, die sekundären schwach. Die Verbindung ergiebt sich dann aus der Figur einfach, in welcher M, M^1 die beiden Mikrophone, E, E^1 die zugehörigen Elemente, T, T_1 die beiden Tele-

Fig. 339.

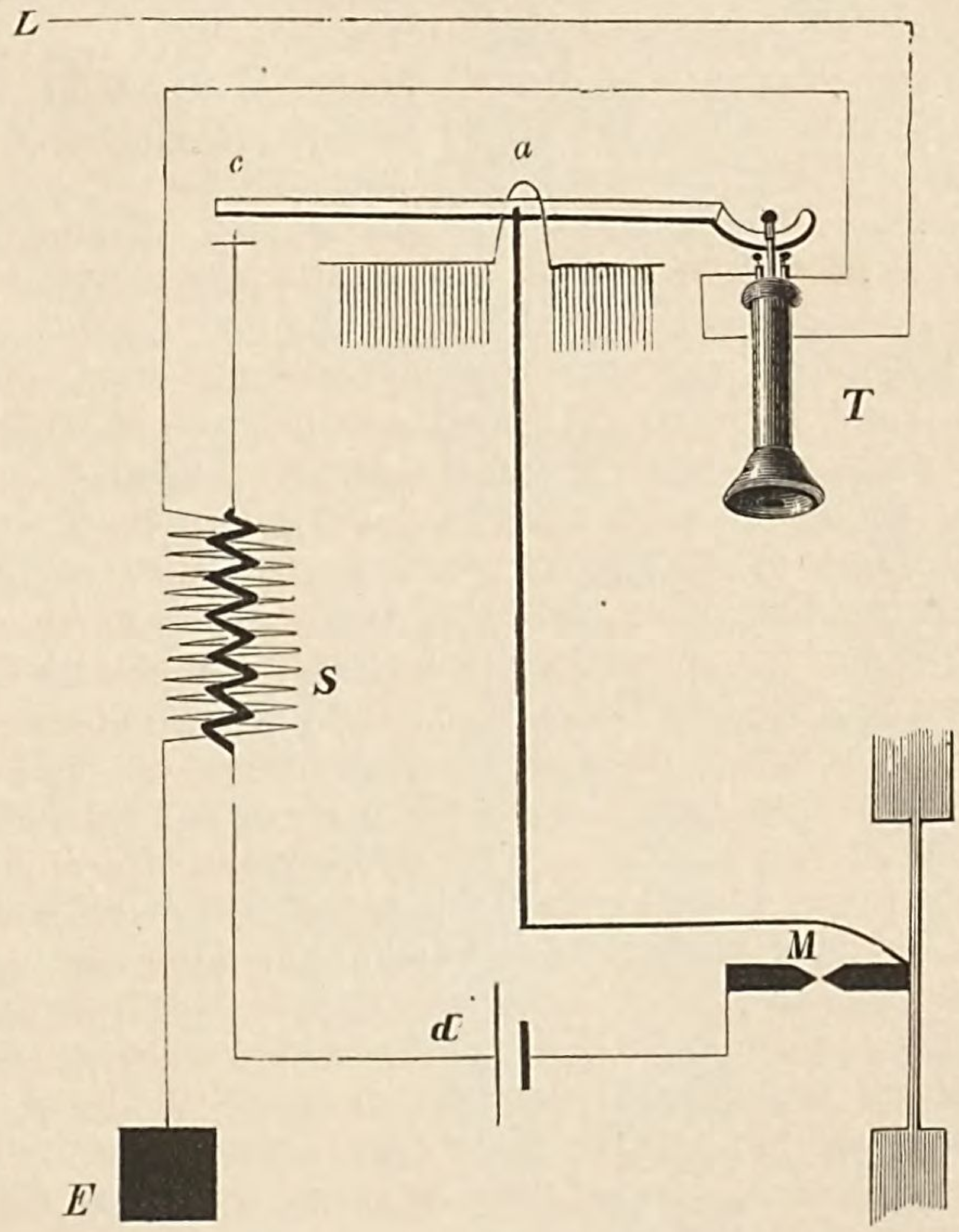


phone, S, S_1 und R, R_1 die primären und sekundären Induktionsspiralen sind, von denen die letzteren durch die Hin- und Rückleitung L mit einander verbunden sind. Die Rückleitung jedoch braucht nicht durch einen Draht zu geschehen. Nach der grossen Entdeckung von Steinheil, die im nächsten Kapitel besprochen werden wird, ist es möglich, die Erde selbst als Rückleitung zu benutzen. Man braucht dann nur einen Draht zwischen den beiden Stationen und erspart also an Material und Kosten der Einrichtung.

Als galvanische Elemente für die Mikrophonkreise nimmt man gewöhnlich Leclanché-Elemente, welche ausreichend stark und ausdauernd und billig sind. Ein einziges Leclanché-Element ist für einen Mikrophonkreis genügend und zweckmässig. Mehrere Elemente zu nehmen ist deswegen nicht rathsam, weil durch die stärkeren Ströme die Contaktstellen der Kohlen langsam verbrennen und dadurch der Hauptbestandtheil des Mikrophons gefährdet wird. Wenn das Telephon und Mikrophon nicht benutzt wird, ist es natürlich angebracht, den Strom des Elementes zu öffnen, damit dasselbe weniger rasch verbraucht wird. Man hat dazu zweckmässig eine automatische Einrichtung angebracht. Es wird nämlich das Telephon nach Beendigung des Verkehrs einfach an einen Haken gehängt und dadurch der Strom des Mikrophonkreises unterbrochen. Diese Einrichtung ist in Fig. 340 schematisch gezeichnet. Das Telephon T hängt an einem Haken und zieht durch sein Gewicht

den Hebelarm a c in die Höhe und unterbricht dadurch die Verbindung bei c. Sowie das Telephon zum Hören von dem Haken herunter genommen ist, wird die Verbindung bei c hergestellt. Dann geht der Strom von dem Element d durch die primäre (stark gezeichnete) Spirale

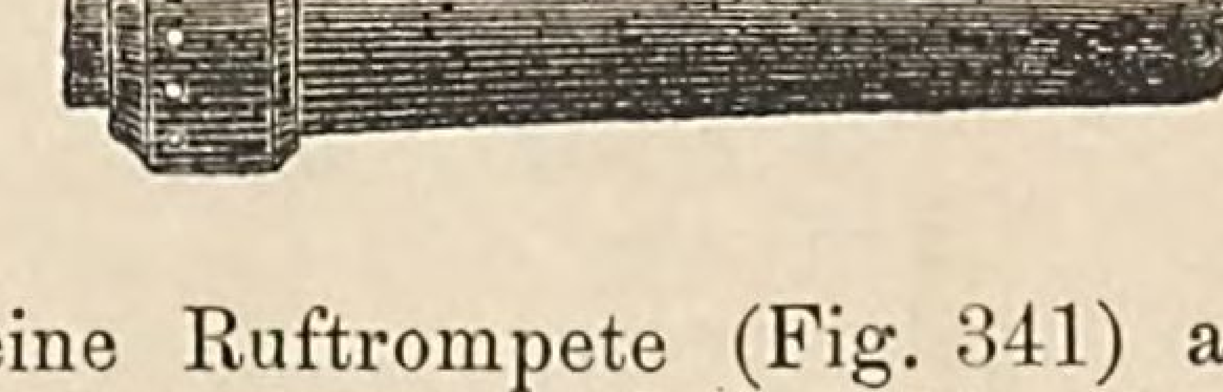
Fig. 340.



zu c, dann durch c a zum Mikrophon M und zum Element zurück. Die in der sekundären Spirale erzeugten Ströme gehen durch das Telephon T und durch die Leitung L zum Telephon der nächsten Station (welches auch von seinem Haken abgenommen ist), von dort in die Erde und durch die Erde zu E in die erste Station zurück.

Als man begann, das Telephon praktisch in den Verkehr einzuführen, sah man bald, dass es nothwendig sei, ein Mittel anzuwenden, um ein lautes Zeichen zu geben, wenn telephonirt werden soll. Denn die gesprochenen Worte hört man an der Empfangsstation ja nur, wenn man das Telephon ans Ohr legt. Man versuchte theilweise, durch das Telephon selbst ein laut vernehmbares Signal zu geben. Siemens bringt eine kleine Ruftrompete (Fig. 341) an seinen Telephonen an. Diese besteht aus einer flach kegelförmigen

Fig. 341.



Zungenpfeife. An der Zunge der Pfeife sitzt ein kleiner Metallkegel, welcher beim Anblasen auf der Eisenmembran des Telephons trommelt und daher die Wirkung so verstärkt, dass man auch in einiger Entfernung von dem Empfangstelephon den Ruf hört. Diese Pfeife wird beim Anfang der Unterhaltung in die Schallöffnung des Telephons eingesetzt. Die Telephone von Siemens & Halske arbeiten ohne Mikrophon, also ganz ohne jedes galvanische Element, und das ist in manchen Fällen ein grosser Vorzug für die praktische Benutzung, ein Vorzug, der auch die Siemens'schen Telephone durch die Reichspostverwaltung in Deutschland zur allgemeinen Einführung brachte.

Die Telephone dagegen, welche auf weite Entfernungen wirken sollen, benutzen ja zum Sprechen ein Mikrophon und dieses braucht an sich schon ein galvanisches Element. Es war mithin angebracht, bei diesen Telephonen auch ein besonderes Signalwerk einzurichten, welches von einer kleinen galvanischen Batterie betrieben wurde. Man benutzt deswegen jetzt bei den meisten Telephoneinrichtungen mit Mikrophon noch eine elektrische Klingel, welche durch einige galvanische Elemente in Thätigkeit gesetzt wird. Eine solche Klingel ist ein gewöhnlicher Neef'scher Hammer, wie er auf S. 177 f. beschrieben wurde. Sobald der Strom geschlossen wird, kommt der Anker in rasche hin- und hergehende Bewegung, und wenn man an den Anker einen Klöppel befestigt, der dabei auf eine Glocke schlägt, so ertönt die Klingel, so bald und so lange ein Strom durch den Apparat geht. In der Anwendung drückt man an der Aufgabestation auf einen Taster und schliesst dadurch einen Stromkreis, in dem die Klingel der zweiten Station (resp. ihr Elektromagnet) sich befindet. Dies ist das Anfangssignal für die zweite Station. Diese bringt dann ebenfalls durch Drücken auf einen Taster die Klingel der ersten Station zum Läuten und zeigt dadurch an, dass sie bereit sei, zu telephoniren, und dann kann das Gespräch durch Mikrophon und Telephon geführt werden.

Für die praktische Einrichtung ergeben sich aber daraus sofort einige Forderungen. Der Stromkreis von dem Element der ersten Station zur Klingel der zweiten und umgekehrt braucht eine leitende Verbindung zwischen den beiden Stationen, und es war das natürlichste, den Leitungsdraht dazu zu nehmen, welcher schon die beiden Telephone mit einander verbindet. Andererseits aber musste man vermeiden, dass der Strom von dieser Signalbatterie durch die Telephone selbst gehe, weil sonst die Magnete zu stark oder zu schwach würden, und dadurch Mängel beim Betrieb eintreten müssten. Ferner wäre es eine Materialverschwendung, die Signalelemente geschlossen zu halten, wenn man sie nicht braucht. Man musste also eine Vorrichtung ersinnen, welche folgende Funktionen der Reihe nach leicht ausführte:

1) Einen Stromkreis zwischen den Elementen der ersten Station und der Klingel der zweiten zu schliessen, ohne dass Mikrophon und Telephon eingeschaltet waren, und ebenso einen Stromkreis von dem Element der zweiten Station zu der Klingel der ersten.
2) Diesen Stromkreis zu unterbrechen.

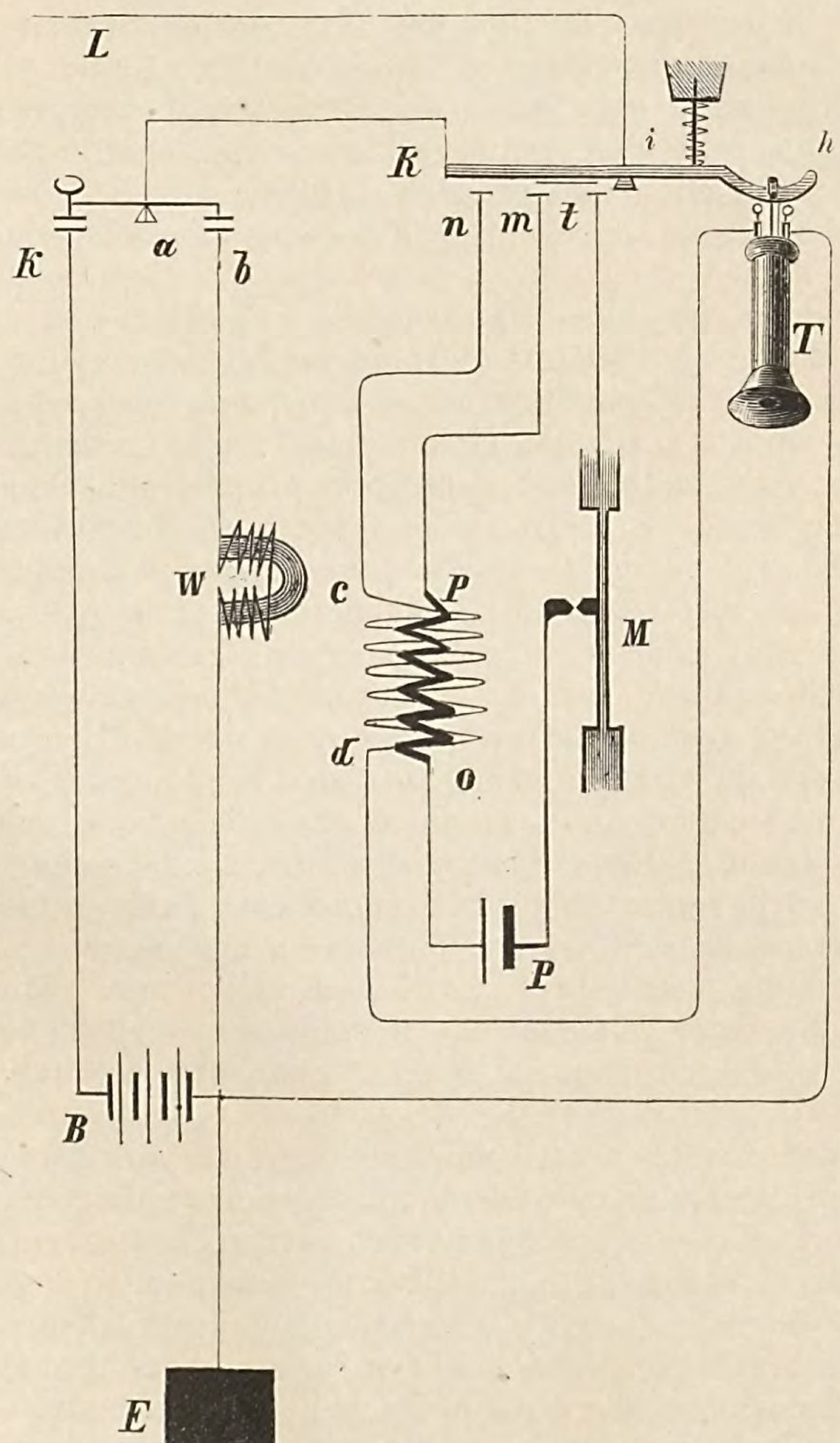
3) Auf beiden Stationen das Mikrophon mit seinem Element zu verbinden und zugleich die Telephone mit einander in Verbindung zu setzen.

Alle diese Funktionen mussten so ausgeführt werden, dass sie praktisch anwendbar sind, also von jedem Laien ohne physikalische Kenntnisse benutzt werden konnten.

Eine solche Vorrichtung, wie sie bei vielen Telephoneinrichtungen angebracht ist, zeigt Fig. 342.

Das Telephon T hängt zuerst auf beiden Stationen an einem Haken, der um den Punkt i drehbar ist. Durch das Gewicht des

Fig. 342.



Telephons wird das Ende h des Hakens heruntergezogen, das Ende k in die Höhe gehoben und dadurch die Verbindungen mit n m t unter-

brochen, welche zum Stromkreis des Mikrophons und Telephons gehören. Dagegen wird durch k eine leitende Verbindung mit a hergestellt, der Mitte eines Tasters, welcher gewöhnlich auf b aufliegt, beim Herabdrücken des Knopfes aber auf K zu liegen kommt. Sobald man nun jetzt auf den Taster drückt, geht ein Strom von den Elementen B durch K, a, k, i zur Leitung L, welche mit i verbunden ist. Von dieser zu dem i der nächsten Station (in welcher auch das Telephon an dem Haken hängt) und dort durch k a b (da ja dort der Taster nicht herabgedrückt ist), zu dem Elektromagnet der dortigen Klingel W, dann zur Erde und durch die Erde zu den Elementen B der ersten Station zurück.

Dadurch ertönt also die Klingel der zweiten Station, während durch die Telephone und Mikrophone kein Strom geht. Nun wird auf der zweiten Station der Taster zur Antwort heruntergedrückt und dadurch die Klingel W der ersten Station in Bewegung gesetzt.

Die erste Funktion ist dadurch erfüllt, die Klingeln sind in Thätigkeit, ohne dass durch die Telephone und Mikrophone ein Strom geht.

Nun werden auf beiden Stationen die Telephone von den Haken abgenommen. Dadurch wird die Verbindung mit k unterbrochen. Die Klingeln W und ihre Elemente sind also dadurch ausgeschaltet.

Dagegen wird n durch den Haken mit T, und m und t durch ein Metallblättchen, das isolirt auf dem Haken sitzt, mit einander verbunden. Dadurch sind die Mikrophone mit ihrer Batterie verbunden und zugleich die Telephone durch die Leitung L mit einander in Verbindung gesetzt. Denn von dem Mikrophonelement P geht der Strom jetzt durch das Mikrophon M, durch t und m zur primären Spirale p o und dann zum Element P zurück. Zugleich gehen von der sekundären Spirale d c die inducirten Ströme durch n, i und die Leitung L zum Punkt i der zweiten Station, und dort durch i, n zu der dortigen sekundären Spirale c d, dann durch das dortige Telephon T und durch r zur Erde E. Von der Erde kommt der Strom zur Erdplatte E der ersten Station zurück und geht dann aus dieser durch r in das Telephon T und dann zur sekundären Spirale d c zurück.

Damit ist also erreicht, was beabsichtigt war. Die Klingel funktionirt, ohne das Telephon zu beeinflussen und Telephon und Mikrophon funktioniren, ohne dass die Elemente der Klingeln geschlossen sind.

Man braucht nichts weiter vorzunehmen, als auf den Taster zu drücken, und nachdem man durch die Klingel Antwort hat, das Telephon von seinem Haken zu nehmen und zu sprechen.

Statt das Telephon an einen Haken aufzuhängen, wird es oft auch auf ein Tischchen gestellt, welches, auf Federn ruhend, ebenfalls wenn es heruntergedrückt wird, Verbindungen herstellt und öffnet, ganz so wie der Haken bei der beschriebenen Anordnung.

Das Telephon liess zuerst sehr grosse Erwartungen in Betreff seiner Anwendbarkeit entstehen. Man dachte daran, dass es womöglich den Telegraphen verdrängen könnte, wenn es erst so weit vervollkommnet sein würde, um auf weite Entfernungen die Sprache deut-

lich wiedergeben zu können. Indess zeigt es sich, dass das Telephon an den Mängeln seiner Vorzüge leiden muss, die eine Verwendung auf weite Entfernungen unmöglich machen. Das Telephon ist ein ausserordentlich empfindliches Instrument. Seine Fehler sind nicht, dass es zu wenig von kleinen Wirkungen beeinflusst wird, sondern vielmehr, dass es auf sie zu viel reagirt. Nicht blos die überaus kleinen Schwingungen, welche durch das Sprechen in der Membran erzeugt werden und welche so überaus schwache elektrische Ströme hervorbringen, erregen das Telephon, so dass es sie an der anderen Station wiedergiebt, sondern auch jede andere geringe Störung des elektrischen Gleichgewichts bringt ein Telephon in Anregung. In Folge dessen ist es nicht möglich, Telephonleitungen neben die Telegraphenleitungen zu legen, wenn ein grosser telegraphischer Verkehr stattfindet. Denn jede Depesche, die durch einen Telegraphendraht gesendet wird, und welche ja in hinter einander folgenden Oeffnungen und Schliessungen eines Stromes besteht, jede Depesche inducirt in dem daneben liegenden Telephondraht eine Reihe von Strömen und das Telephon kommt zum Tönen. Man kann, wenn man ein Telephon ans Ohr hält, dessen Leitung neben einer Telegraphenleitung liegt, genau hören, wie nebenbei telegraphirt wird, und ein Telegraphenbeamter, der ja die Bedeutung der einzelnen telegraphischen Stromöffnungen und -schliessungen kennt, kann in Folge dessen hören und verstehen, was daneben telegraphirt wird. Telephoneinrichtungen neben verkehrsreichen Telegrapheneinrichtungen sind also zu bedeutenden Störungen ausgesetzt, als dass man sie bequem benutzen könnte. Deshalb fing man zuerst in Amerika an, das Telephon nicht als Concurrenten des Telegraphen, sondern als Ergänzung desselben zu benutzen. Man wendete das Telephon an für den inneren persönlichen Verkehr in den einzelnen Städten selbst und diese Anwendung hat sich von dem allergrössten Nutzen gezeigt. Nach amerikanischem Muster wurde bald auch in Deutschland das Telephon hauptsächlich in den grossen Städten für den inneren Verkehr eingerichtet, obwohl es auch für die Vermittelung von Nachrichten nach kleinen Nebenstationen, die keine telegraphische Einrichtung haben, von der Reichspostverwaltung eingeführt wurde.

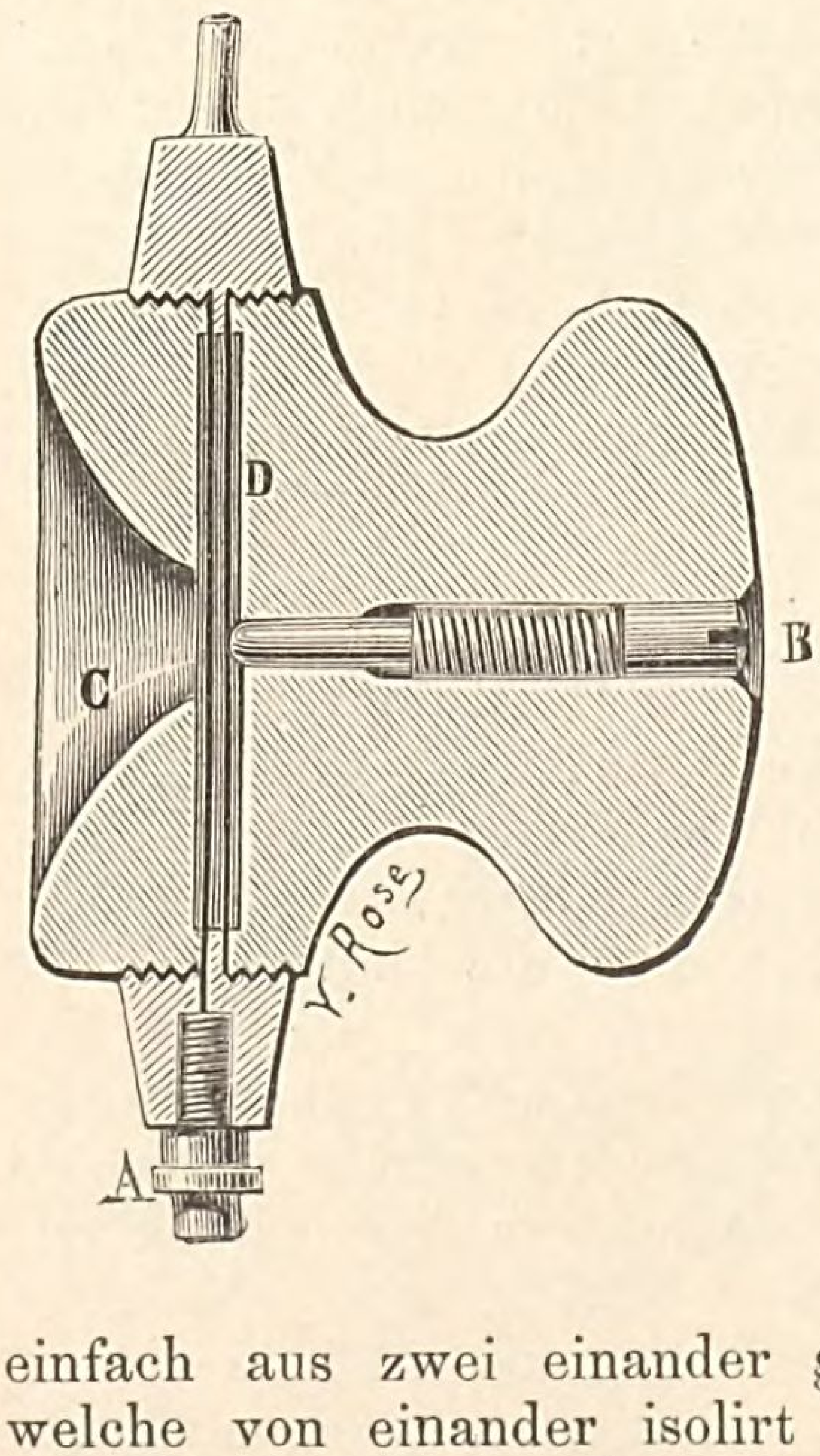
Für den inneren Stadtverkehr ist es nun bei einer einigermassen grossen Zahl von Theilnehmern nothwendig, ein Centralbureau einzurichten, durch welches der gesammte Verkehr vermittelt wird. Denn sonst müsste jeder Theilnehmer mit jedem anderen eine besondere Telephonleitung haben, was, abgesehen von den Kosten, eine Unmöglichkeit wäre wegen der vielen Drähte, die über die Häuser führen müssten.

Deswegen geht von jedem Theilnehmer nur eine Telephonleitung zu der Centralstelle, und dieser fällt die Aufgabe zu, immer wenn sie angerufen wird, je zwei Theilnehmer mit einander in Verbindung zu bringen. Das Vermittelungsamt muss also im Stande sein, jeden Anruf zu hören, aus welcher Leitung er auch komme, in jede dieser Leitungen selbst zu sprechen und je zwei Leitungen mit einander zu verbinden. Deswegen müssen die Klingeln jeder Station und ihre

Batterie nebst Taster mit dem Vermittelungsamte verbunden sein. Ferner muss auch, um ein sichtbares Zeichen zu hinterlassen, durch den Anker des Klingelmagneten eine kleine Scheibe fallen gelassen werden, welche eine Nummer sichtbar werden lässt, durch die man sofort erkennen kann, von welcher Stelle aus geklingelt wurde. Alle Leitungen sind am Vermittelungsamt mit ihren Enden an Metallstücke geführt, die in einem Kasten oder Schrank sich befinden, so dass sie alle von einander isolirt sind. Will der Beamte in dem Vermittelungsamt mit einer Station sprechen, so braucht er nur sein Telephon oder Mikrophon mit dem betreffenden Metallstück zu verbinden. Zu dem Ende hat er Verbindungsstöpsel, welche zu je zweien durch eine aus biegsamen Metalldrähten gebildete Leitungsschnur mit einander verbunden sind und welche nun in das Endstück der betreffenden Leitung und in ein Endstück des Bureautelephons eingestöpselt werden. Dadurch ist die Verbindung zwischen Anrufstation und Vermittelungsamt leicht hergestellt. Hat der Beamte erfahren, mit wem die erste Station sprechen will, so ruft er diesen durch die Klingel an, verbindet sein Telephon mit dem der zweiten Station, theilt ihm das Nöthige mit und verbindet dann die beiden Stationen unter einander ebenfalls durch eine solche Leitungsschnur.

In dieser und ähnlicher Weise werden Vermittelungsstationen eingerichtet. Durch diese zweckmässige und einfache Einrichtung hat sich das Telephon seit der kurzen Zeit seiner Einführung (seit Ende 1877) in Deutschland schon einen ausserordentlich ausgedehnten Anwendungskreis erobert und die fortwährenden Verbesserungsversuche versprechen ihm noch eine bedeutende Zukunft.

Fig. 343.



Es bleibt noch übrig, einige Telephonconstruktionen anzuführen, die auf anderen Grundlagen beruhen, als die oben erwähnten. Alle Telephone (Empfänger), die erwähnt waren, waren auf der Anziehung einer Eisenmembran durch einen Magneten basirt. Der Magnet wurde durch die entstandenen Induktionsströme verstärkt oder geschwächt und brachte durch vermehrte oder verminderte Anziehung die Eisenmembran in Schwingungen. Ganz dasselbe erreichte Dolbear bei seinem sinnreich eingerichteten Telephon ohne jede Anwendung eines Magnets, vielmehr durch gewöhnliche elektrische Anziehung zweier elektrischen Metallplatten. In Fig. 343 ist ein Durchschnitt durch das Dolbear-sche Telephon gezeichnet. Es besteht einfach aus zwei einander gegenüberstehenden dünnen Metallplatten, welche von einander isolirt sind. Die hintere Platte steht mit dem einen Ende der secundären Induktionsspirale in Verbindung, die vordere

mit dem anderen Ende. Der sekundäre Stromkreis ist also nicht geschlossen. Wenn nun durch Sprechen gegen das Mikrophon in der sekundären Spirale Induktionsströme entstehen, so ladet sich die eine Platte mit positiver, die andere mit negativer Elektricität, und die beiden Platten ziehen sich nach dem Coulomb'schen Gesetz (S. 8) an. Die Grösse der Anziehung hängt ab von der Grösse der Potentialdifferenz, die auf ihnen herrscht, und wird daher grösser oder geringer, je nach den Stromschwankungen in der primären Spirale. So kommt die vordere der beiden Platten, welche nur am Rande befestigt ist, in Schwingungen und überträgt diese als Schall an die Luft. Die hintere Platte sitzt in ihrer Mitte auf dem Ende einer Metallschraube B auf. Eine Ansicht des Telephons giebt Fig. 344. Der mittlere Theil desselben enthält die beiden Metallplatten, die in Fig. 345*) etwas aus der Holzfassung herausgedreht gezeichnet sind. Mit dem Dolbear'schen Telephon werden sehr laute Töne erzeugt. Damit es aber kräftig wirkt, ist es nothwendig, dass die primäre Batterie stark ist, weil sonst die entwickelte Elektricitätsmenge nicht ausreicht, um die Platten in Bewegung zu setzen.

Fig. 344.

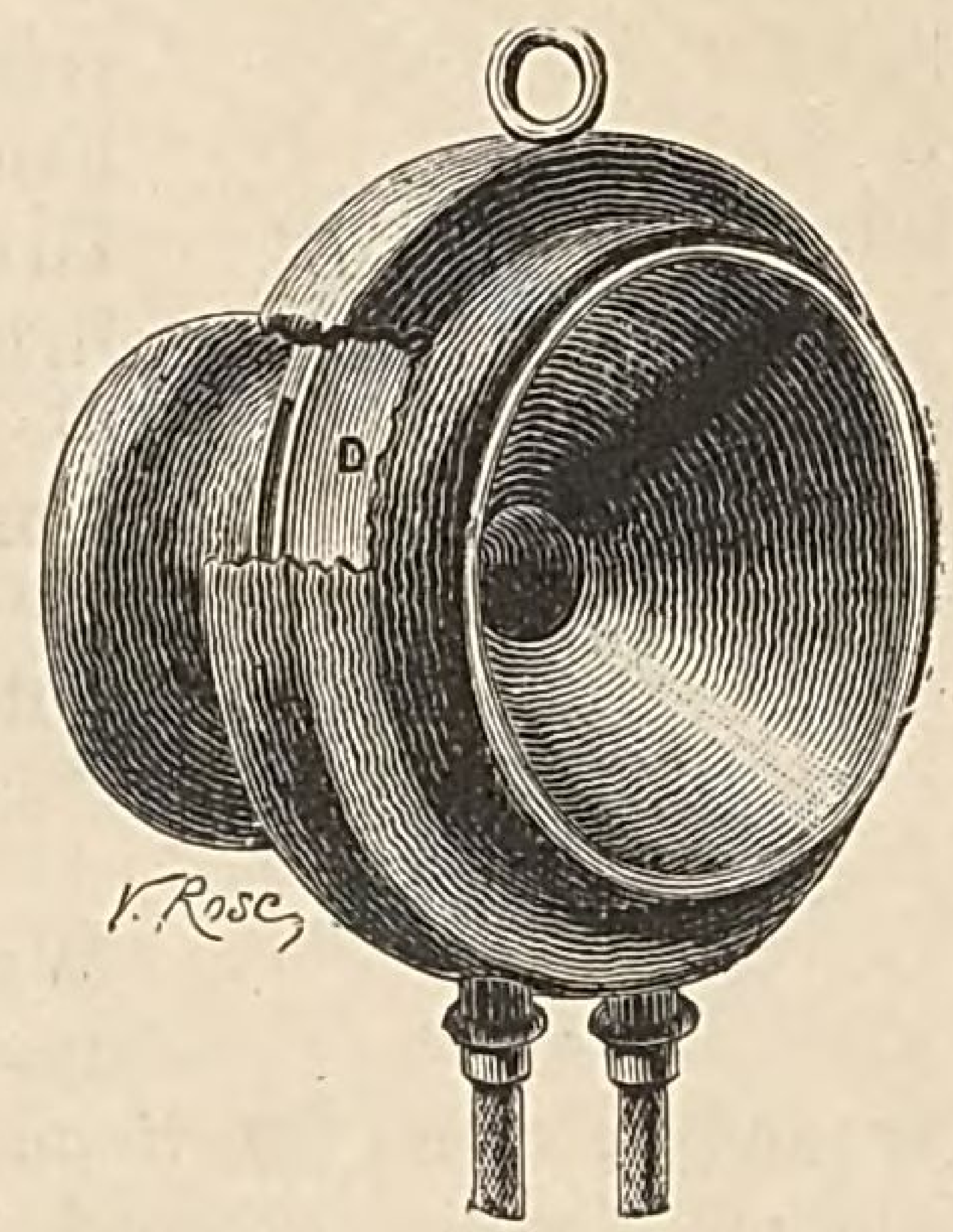
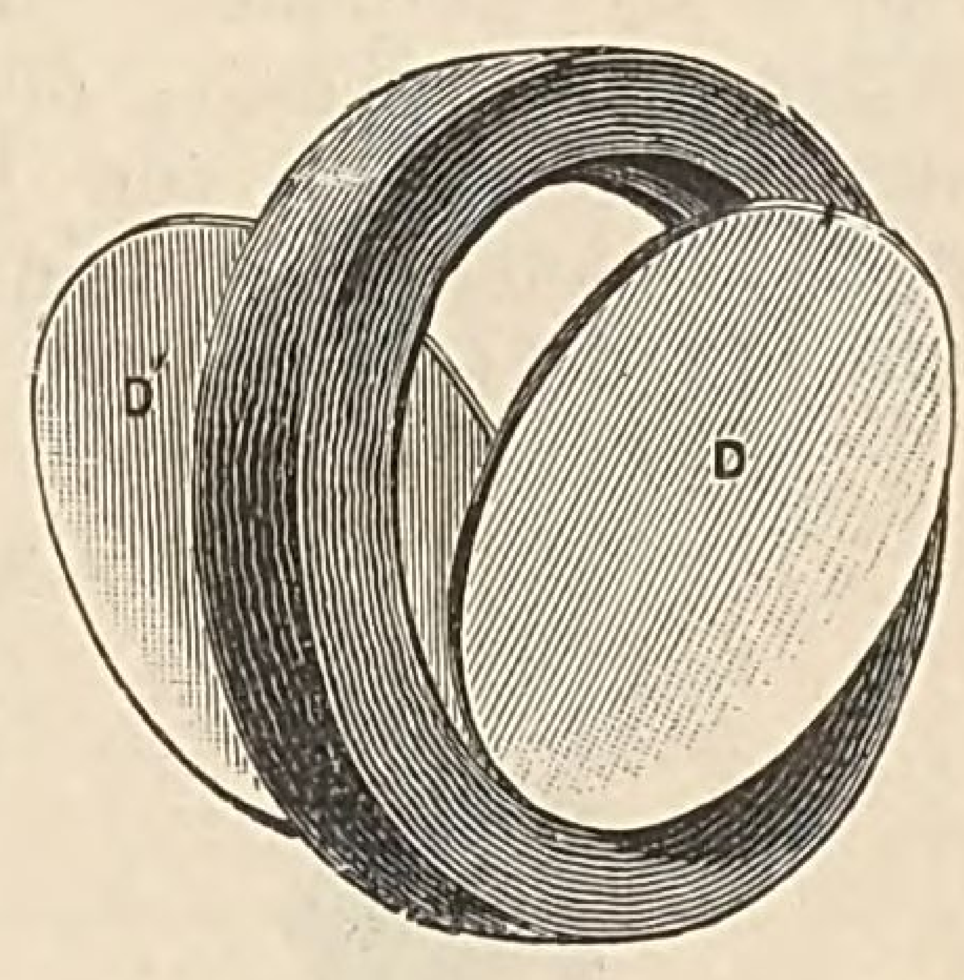


Fig. 345.

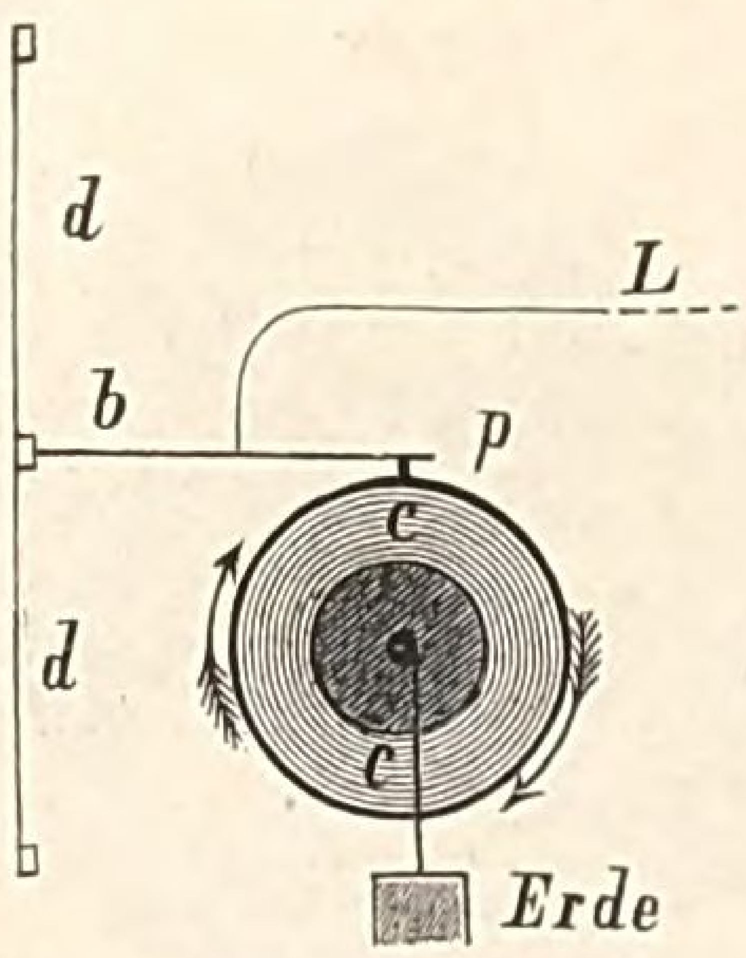


Wieder ganz andere physikalische Hülfsmittel benutzte Edison zur Construktion eines Telephons, das ebenfalls ganz ohne Anwendung eines Magnets funktionirt. Wenn man eine Metallelektrode auf einem mit angefeuchtetem Metallsalz bestrichenen Papier gleiten lässt, so wird diesem Gleiten ein gewisser Widerstand durch die Reibung entgegengesetzt. Lässt man aber durch das Papier einen Strom hindurchgehen, indem man das gleitende Metall als negative Elektrode benutzt, so scheidet sich an dieser Elektrode aus dem feuchten Salz das Metall ab, und in Folge dessen vermindert sich die Reibung, da jetzt Metall auf Metall gleitet. Oeffnet und schliesst man also abwechselnd den Strom, so findet bald stärkere, bald schwächere Reibung statt, entsprechend den Stromschwankungen. Dieses Princip wendet Edison in folgender Weise zur Construktion eines Telephons (Empfängers) an. Er lässt auf der Empfangsstation einen Kalkcylinder C C (Fig. 346) durch eine Kurbel drehen und auf diesem ein Platinstück p gleiten, welches fest mit einer Membran d d verbunden ist. Der Cylinder ist mit Kalihydrat

*) Die Figg. 192, 196, 201—203, 210, 234, 238—241, 243, 245, 249, 254—256, 266—268, 270—272, 278, 284, 286, 289, 291, 293, 296—299, 302, 303, 309, 335, 341, 343—345 sind aus der Zeitschrift „La lumière électrique" mit Erlaubniss des Verlegers entnommen.

und Quecksilberacetat durchtränkt und wird stets etwas angefeuchtet gehalten. Sobald die sekundären Ströme vom Transmitter durch die Reibungsstelle hindurchgehen, vermindert sich die Reibung, und das Platinstück und ebenso die Membran kommen in regelmässige Schwingungen. Diesen sinnreichen Apparat, der in Amerika und in England theilweise benutzt wird, nennt Edison Elektromotorograph. Um das lästige Anfeuchten zu vermeiden, imprägnirt Edison neuerdings den Kalkcylinder unter hohem Druck mit einer alkalischen Lösung von Dinatriumphosphat ($PO_4 Na_2 H$). Diese zieht aus der Luft von selbst immer genügend Feuchtigkeit an, um durch den Strom leicht zersetzt zu werden.

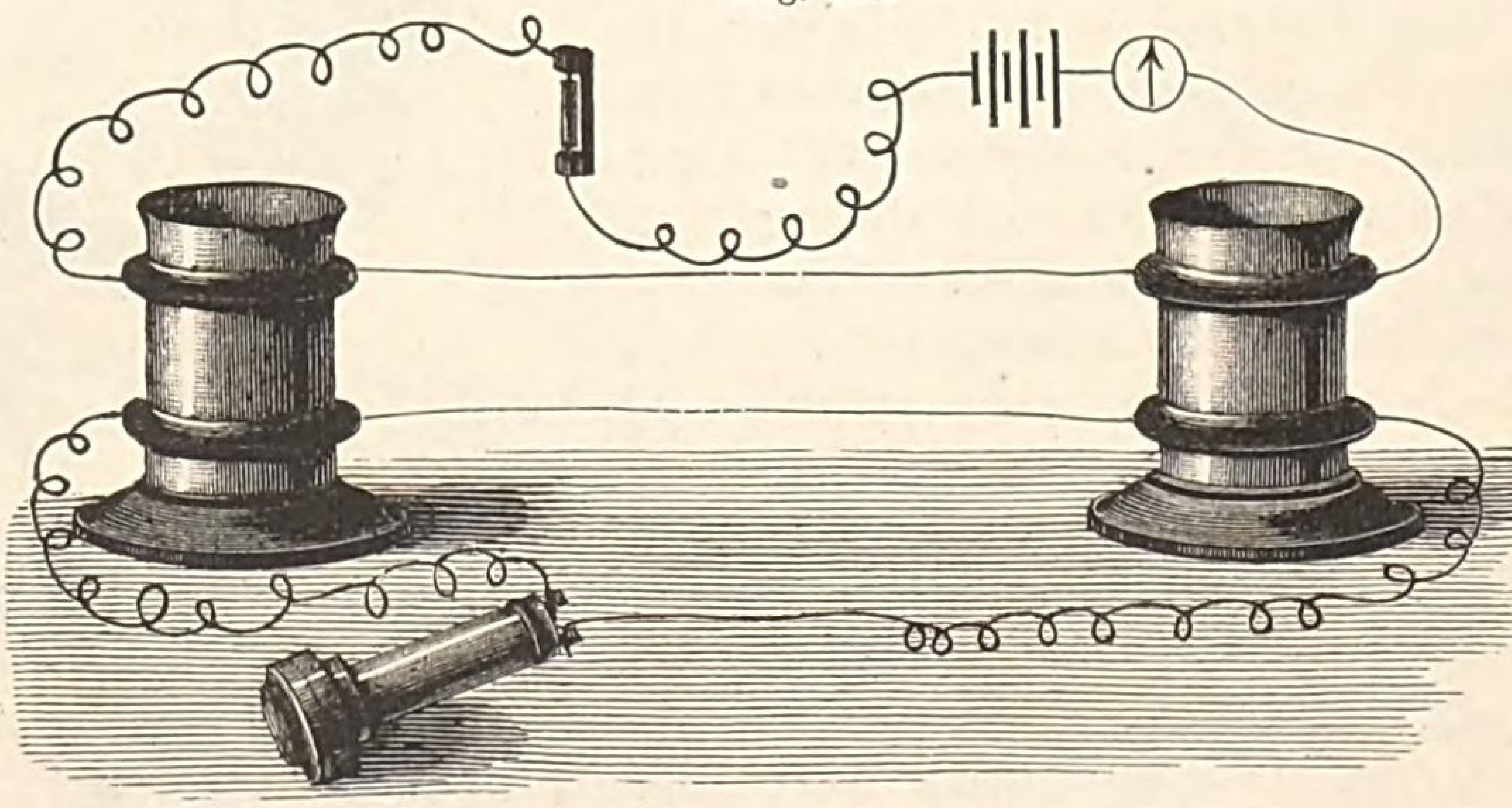
Fig. 346.



Ausser zur praktischen Uebermittelung von Worten und Tönen in weite Entfernungen ist das Telephon auch wegen seiner Empfindlichkeit für andere, zum Theil auch für wissenschaftliche Zwecke von mannigfachem Nutzen geworden. Insbesondere ersetzt das Telephon die empfindlichsten Galvanoskope bei Wechselströmen und wird in dieser Hinsicht häufig benutzt, wie wir schon auf S. 131 gesehen haben.

Eine sehr wichtige Anwendung hat das Telephon in der Hughes'schen Induktionswage und in den von ihr abgeleiteten Apparaten gefunden. Die Induktionswage ist, wie die gewöhnliche Wage, ein Apparat, der nur Differenzen von Wirkungen misst und zwar Differenzen von Induktionswirkungen, aber durch seine Einrichtung auch die kleinsten Differenzen schon angiebt. Er besteht, wie Fig. 347 zeigt, aus zwei Cylindern von Holz, von denen jeder

Fig. 347.



zwei Drahtrollen trägt. Die beiden oberen sind mit einer Batterie und einem Mikrophon verbunden, die beiden unteren mit einem Telephon, und die Abmessung der Drähte, sowie die Verbindungen sind so getroffen, dass die Schwankungen des Mikrophonstromes in den beiden Spulen des Telephonstromes gerade entgegengesetzte Schwankungen hervorrufen, so dass das Telephon also bei dieser Anordnung in Ruhe

bleibt, wie gross auch die Mikrophonschwankungen sind. Sowie man aber in einen dieser Cylinder z. B. ein Stück Metall hineinwirft, so werden in diesem durch den Mikrophonstrom Induktionsströme erregt und diese erzeugen in dem Telephonkreis momentane Induktionsströme, so dass das Gleichgewicht der beiden Telephonspulen gestört ist und das Telephon zum Tönen kommt. Auf diese Weise zeigt sich die geringste Störung des elektrischen Gleichgewichts an. Ja, wenn z. B. in jeden der beiden Cylinder ein Geldstück geworfen wird, die nicht genau gleich schwer oder aus genau gleichem Metall sind, so zeigt das Telephon diese Verschiedenheit an. Man hat also in der Induktionswage ein Mittel, um das Vorhandensein von Metallen zu erkennen, selbst wenn man sie nicht sieht. Davon lassen sich auf vielfache Weise wichtige Anwendungen machen. So wurde z. B. durch einen der Induktionswage ähnlichen Apparat bei dem Präsidenten Garfield, als er durch das Attentat verwundet war, der Sitz der Kugel in seinem Körper gefunden und dadurch die Möglichkeit geboten, sie zu entfernen. Es lässt sich auch unschwer denken, dass die Induktionswage dazu dienen kann, unterirdisches Gold und Silber anzuzeigen, so dass man in ihr gewissermassen eine Wünschelruthe hat, welche verborgene Schätze anzeigt und welche das Sehnen und Streben so vieler Generationen war. So stellt der stetige und unbeirrte Fortschritt der Naturwissenschaften, der auf vorurtheilsfreier Erforschung der Natur beruht, sogar Dinge wirklich her, die früher nur für erstrebenswerthe, aber unerreichbare Gebilde weitschweifender Phantasie galten.

8. Kapitel.

Die Telegraphie.

Zwei Eigenschaften waren es, welche in der Elektricität schon sehr früh eine passende Kraft erkennen liessen, die zur Uebertragung von Nachrichten auf weite Entfernungen geeignet wäre. Die erste dieser Eigenschaften ist die grosse Schnelligkeit, mit der sich der elektrische Zustand auf Leitern verbreitet. Es sind uns sichere Zahlen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität nicht bekannt, aber dass alle Entfernungen, die wir auf der Erde haben, fast momentan von der Elektricität durchflossen werden, darin stimmen alle bisherigen Messungen über die Geschwindigkeit der Elektricität überein. Zu dieser ersten Eigenschaft, der grossen Geschwindigkeit, kommt aber als zweite wichtige hinzu, dass die Elektricität sich nur auf vorgeschriebenen Wegen fortpflanzt. Der elektrische Strom fliesst nur durch Leiter, die Elektricität bleibt auf der Oberfläche von isolirten Leitern und nur bei ungenügender Isolation dringt sie in die isolirende Substanz ein. Das ist ein grosser Vorzug, den die Elektricität vor dem Licht hat, welches sonst allein an Geschwindigkeit mit ihr concurriren kann. Das Licht verbreitet sich in der Luft und kann nicht durch Metalle gehen. Die Elektricität dagegen braucht zu ihrem Wege leitende Körper, Metalle, und dringt nicht, oder nur wenig in die begrenzende Luft ein. Dazu kommt, dass man dem Licht, wenn man ihm seinen Weg vorschreiben will, vollkommen geradlinige Bahnen anweisen muss, während die Elektricität jeder Krümmung ihrer Bahn folgt. Und nun übt die Elektricität so verschiedenartige Wirkungen aus, lässt sich in so vielfacher Weise umwandeln, dass es leicht ist, auf entfernten Stellen von einem Punkt aus durch sie gewisse Wirkungen hervorzubringen und dadurch verabredete Zeichen zu geben.

Jedoch die Bemühungen alle, die zuerst auf das telegraphische Senden von Nachrichten gerichtet waren, waren sehr unzweckmässig, weil man für jeden Buchstaben, den man telegraphiren wollte, einen eigenen Draht anwendete. Erst seitdem man, durch Gauss angeregt, einsah, dass alle unsere Buchstaben durch zwei Zeichen sich ausdrücken liessen, konnte die Telegraphie dem praktischen Bedürfniss im Grossen entsprechen.

Diejenigen Wirkungen der Elektricität, welche jetzt fast allein zum Telegraphiren benutzt werden, sind die elektromagnetischen. Diese

aber lassen sich auf mehrfache Weise dazu anwenden und thatsächlich wurden auch im Lauf der Entwickelung der Telegraphie verschiedene elektromagnetische Wirkungen zum Telegraphiren benutzt.

So kann man den Strom von einem Orte aus durch eine Drahtleitung nach der entfernten Station schicken und ihn dort durch Multiplikatorwindungen hindurchgehen lassen, so dass er eine Magnetnadel zur Ablenkung bringt. Dann lassen sich verschiedene Zeichen dadurch geben, dass man Ströme verschiedener Richtung oder verschiedener Stärke anwendet, wodurch die Nadel bald nach der einen, bald nach der andern Seite, bald mehr, bald weniger ausschlägt. Dadurch hat man einige Elementarzeichen und kann nun durch diese das ganze Alphabet bilden. Auf dieser Einrichtung basiren die Nadeltelegraphen. Sie werden jetzt insbesondere bei der unterseeischen Telegraphie noch benutzt.

Während bei der Nadeltelegraphie der Strom selbst die Ablenkungen der Nadel und dadurch die Zeichen hervorbringt, dient bei anderen Telegraphen der von einer Station nach der anderen gesendete Strom nur dazu, um dort schon vorhandene Bewegungen zu reguliren. So lässt man bei den Zeigertelegraphen durch ein Uhrwerk einen Zeiger sich vor einem Zifferblatt drehen, das alle Buchstaben und Zahlen enthält, und bewirkt durch den Strom blos, dass der Zeiger einige Momente an bestimmten Stellen stehen bleibt, gerade an denjenigen Stellen, deren Buchstaben telegraphirt werden sollen.

Der Zeigertelegraph hat den Vortheil, dass er direkt die Buchstaben anzeigt, welche telegraphirt werden, dass er also nicht eine besondere Schrift nöthig macht, dagegen hat er ebenso wie der Nadeltelegraph den Nachtheil, dass die Zeichen nur vorübergehende, momentane sind, dass also etwaige Irrthümer nicht leicht controlirt werden können.

Diesen Uebelstand beseitigen diejenigen Telegraphen, welche bleibende Zeichen beim Telegraphiren geben, die Druck- und Schreibtelegraphen. Sie beruhen auf der Anziehungswirkung, welche ein Elektromagnet auf seinen Anker ausübt. Doch ist bei diesen eben wieder eine besondere Schrift nöthig, welche erlernt und geübt werden muss, so dass zum Telegraphiren und zum Lesen der Depesche eine besondere Vorbildung gehört.

Dieses vermeiden endlich die Typendrucktelegraphen, welche die telegraphirten Worte direkt in gewöhnlicher Druckschrift aufzeichnen, welche also bleibende und sofort lesbare Zeichen geben.

Endlich sind noch Telegraphen vorhanden, welche die Schriftzüge der Absender selbst weiter befördern, die elektrochemischen Telegraphen. Je grösser die Leistungen eines Telegraphen sind, desto complicirter ist natürlich seine Einrichtung.

Bei allen Telegrapheneinrichtungen, bei denen zwei Stationen mit einander verbunden sind, muss auf jeder Station ein Apparat vorhanden sein, um die Depesche absenden zu können, also um Zeichen geben zu können, ferner muss ein Apparat vorhanden sein, welcher die Depeschen, die von der anderen Station kommen, aufnimmt, der sogenannte Receptor. Endlich muss die Leitung zwischen den beiden

Stationen eine bestimmte zweckmässige Einrichtung haben. Soll nun aber ausserdem eine Station nicht blos mit einer anderen, sondern mit vielen anderen sprechen können, so müssen Umschalter vorhanden sein, welche verschiedene Verbindungen gestatten. Endlich gehören zu jeder Station noch Apparate, welche aufmerksam machen, dass depeschirt werden soll, elektrische Klingeln oder andere Signalapparate.

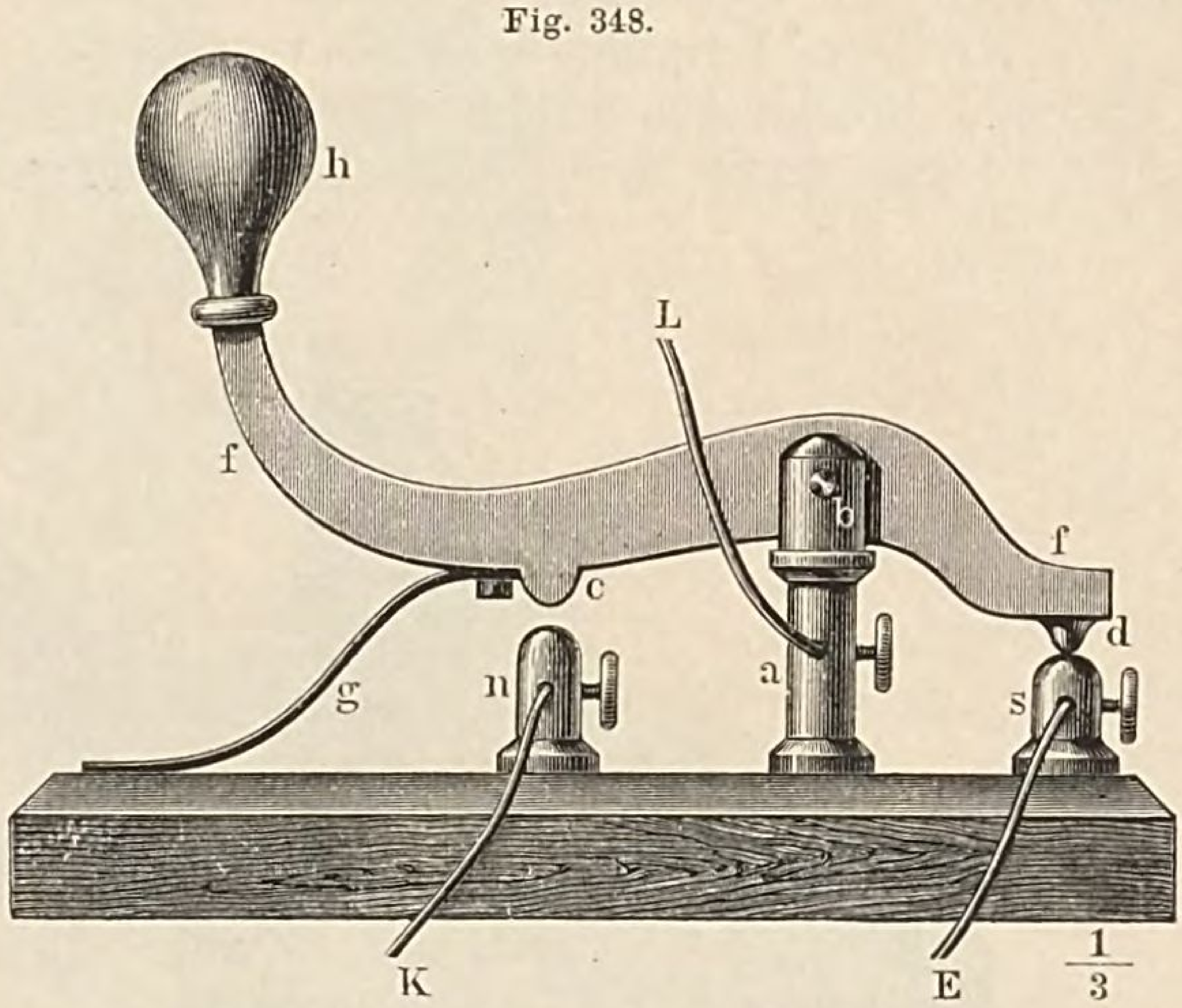
Nach vielen mehr oder weniger unpraktischen Vorschlägen waren es zum ersten Male Gauss und Weber, welche in Göttingen 1833 das magnetische Observatorium und das physikalische Cabinet mit einander durch zwei Drähte verbanden, die zusammen etwa 3000 Meter lang waren, und auf dieser Leitung elektromagnetisch sich verständigten. Sie gaben die Zeichen dadurch, dass sie einen Magneten in eine Rolle hineinsteckten oder aus ihr herauszogen, welche mit der Drahtleitung in Verbindung war. Dadurch bekamen sie jedesmal kurzdauernde Induktionsströme nach der einen und der andern Richtung und auf der Empfangsstation wurde durch diese Ströme ein Magnetstab, der in einem Multiplikatorrahmen hing, nach der einen oder anderen Seite abgelenkt. Durch zweckmässige Combination der Ausschläge nach rechts oder links konnten sie so eine beliebige Menge Zeichen bilden. Es war also dieser erste Telegraph ein Nadeltelegraph. Durch Gauss angeregt, vervollkommnete dann der Münchener Steinheil diesen elektromagnetischen Nadeltelegraphen, indem er die Manipulationen bei dem Geben der Zeichen sehr vereinfachte. Bei seinen Versuchen zwischen Nürnberg und Fürth kam nun Steinheil zufällig auf die Beobachtung, dass es gar nicht nöthig sei, die beiden Stationen durch zwei Drähte zur Hin- und Rückleitung mit einander zu verbinden, sondern dass man die Erde selbst als Rückleitung benutzen könne. Man braucht von jeder Station nur eine Platte in die Erde zu führen und sie dort einzugraben, dann fliesst der Strom zwischen den beiden Stationen durch die Erde hindurch, welche ja ebenfalls ein Leiter der Elektricität ist. Es ist dann also nur ein einziger Draht zwischen beiden Stationen nöthig. Ob diese Anschauung, wie sie Steinheil von der Erdleitung hatte, richtig ist, dass die Erde eben direkt den Strom zurückleitet, ist sehr fraglich. Die Erde ist vielmehr gewissermassen ein Reservoir, in welches alle Elektricität hineinfliesst. Aber die von Steinheil entdeckte Thatsache bleibt deswegen ungeändert, und durch sie konnte die Telegraphie sich so rasch zu einem allgemein gebrauchten Verkehrsmittel erheben, weil durch die Ersparung der einen Hälfte der Drahtleitung natürlich auch die Kosten erheblich geringer wurden.

Die vielen verschiedenen Formen der Telegraphen sind in neuerer Zeit fast alle verdrängt durch den Morse'schen Schreibtelegraphen und den Hughes'schen Typendrucktelegraphen, mit denen wir uns daher vorzugsweise beschäftigen werden.

Bei dem Morse'schen Schreibtelegraphen werden die Zeichen durch kürzeres oder längeres Schliessen eines Stromes gegeben, der durch die beiden verbundenen Stationen hindurchfliesst. Dieser Strom bewirkt, wenn er geschlossen ist, dass ein Elektromagnet erregt wird und seinen Anker anzieht. An dem Anker ist ein Stift befestigt,

der auf einen an ihm vorbei sich bewegenden Papierstreifen Zeichen eindrückt oder einschreibt. Es muss also an der Aufgabestation eine galvanische Batterie vorhanden sein und ein Apparat, durch welchen der Strom dieser Batterie, der durch die Telegraphenleitung fliesst, beliebig geöffnet und geschlossen werden kann. Dieser Apparat, ein sogenannter Taster oder Morseschlüssel, ist in Fig. 348 abgebildet, in einer Form, welche zwar nicht mehr im praktischen Gebrauch, aber zur Erläuterung sehr zweckmässig ist. Ein metallischer Hebel h, der in dem Säulchen a drehbar ist, ruht in der einen Stellung mit seinem einen Ende d auf s, während c frei in der Luft sich befindet. Wird dagegen der Schlüssel heruntergedrückt, so ruht c auf n und d ist von s getrennt. Auf jeder Station ist ein solcher Schlüssel vorhanden und der Leitungsdraht L zwischen beiden Stationen ist in der mittleren Säule a bei beiden befestigt, während n in jeder Station mit dem einen Pol K der Batterie verbunden und s zur Erde E abgeleitet ist; der andere Pol der Batterie ist auch zur Erde abgeleitet.

Fig. 348.



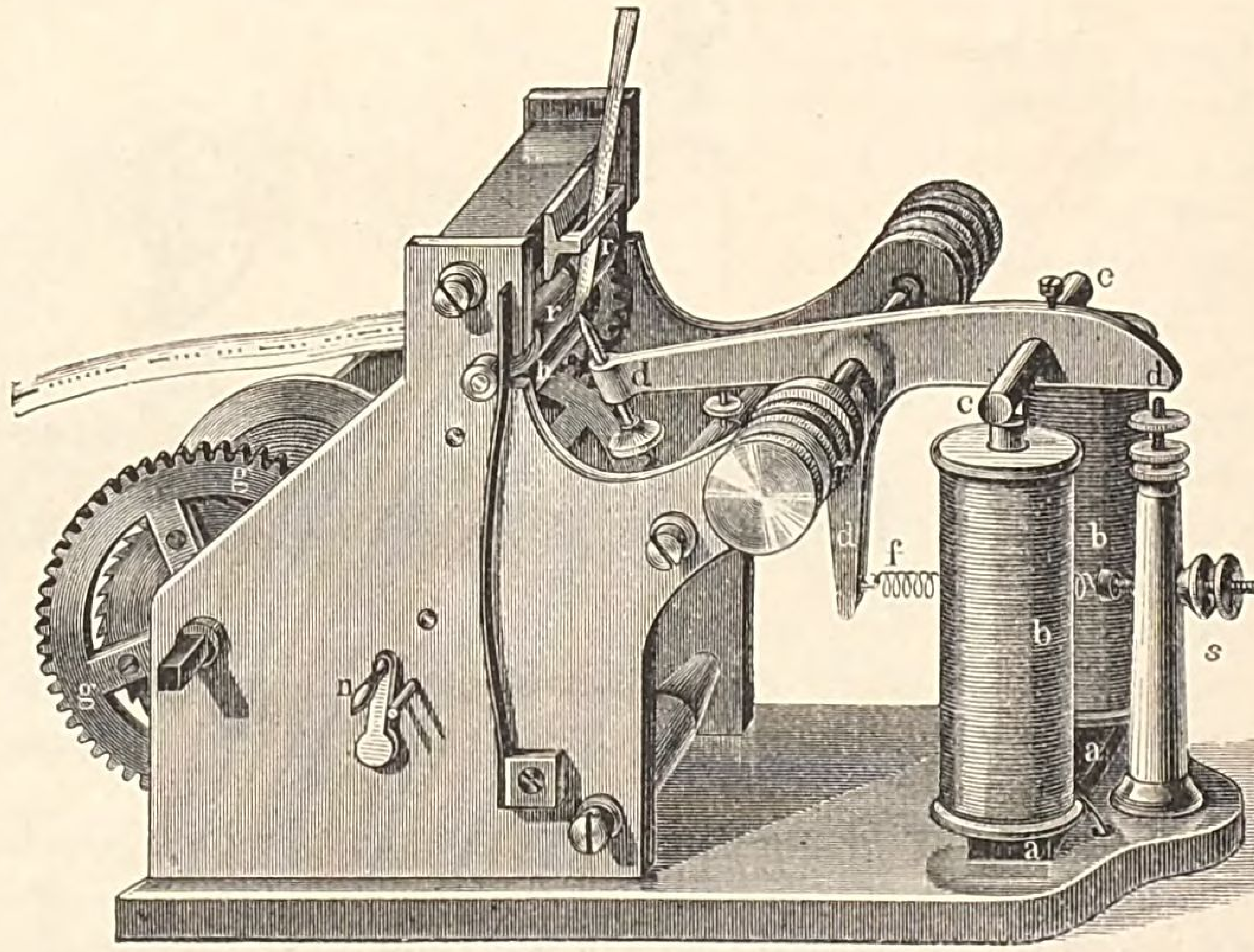
Stehen die Schlüssel in beiden Stationen in der gezeichneten Position, so fliesst kein Strom durch die Leitung, denn bei n ist der Strom unterbrochen. Wird dagegen auf der einen Station der Schlüssel heruntergedrückt, so geht der Strom von dem einen Pol des Elements durch K, n, c, a nach der Leitung L und kommt dadurch an die zweite Station nach a. Dort ist aber der Schlüssel nicht herabgedrückt, folglich geht der Strom dort durch a, d und s zur Erde und durch die Erde ist die Verbindung mit dem andern Pol der Batterie in der ersten Station hergestellt.

Auf diese Weise hat man es in der Hand, durch Herunterdrücken oder Nachlassen des Tasters den Strom von der einen Station nach der andern zu schicken oder zu unterbrechen, und dieser Strom kann dort beliebige elektromagnetische Wirkungen hervorbringen. Soll z. B. die Wirkung darin bestehen, wie es bei dem Morse'schen Telegraphen der Fall ist, dass ein Elektromagnet durch den Strom erregt wird, so braucht man nur in die Leitung, welche von s zur Erde führt, an jeder Station noch diesen Elektromagneten einzuschalten, um sofort die nöthige Verbindung zu haben. Denn wenn in Fig. 348 der Schlüssel h der ersten Station heruntergedrückt wird, also von der ersten Station aus depeschirt wird, so geht der Strom von dem einen Pol der Batterie

durch K, n, c und durch die Leitung L nach dem Schlüssel der zweiten Station, dort durch a, d, s, um den Elektromagneten und dann zur Erdplatte. Von der Erde geht der Strom zurück in die erste Station. Es ist dann also durch diese Verbindung von der ersten Station aus der Elektromagnet in der zweiten erregt, während der der ersten Station selbst nicht von einem Strome durchflossen wird. Ebenso kann man von der zweiten Station aus durch Druck auf den Schlüssel den Elektromagneten der ersten erregen, ohne dass der eigene Elektromagnet beeinflusst wird.

An der Empfangsstation müssen also durch diese einzelnen Ströme, welche den Elektromagneten erregen, Zeichen gegeben werden. Dazu dient der Apparat, welcher in Fig. 349 gezeichnet ist.

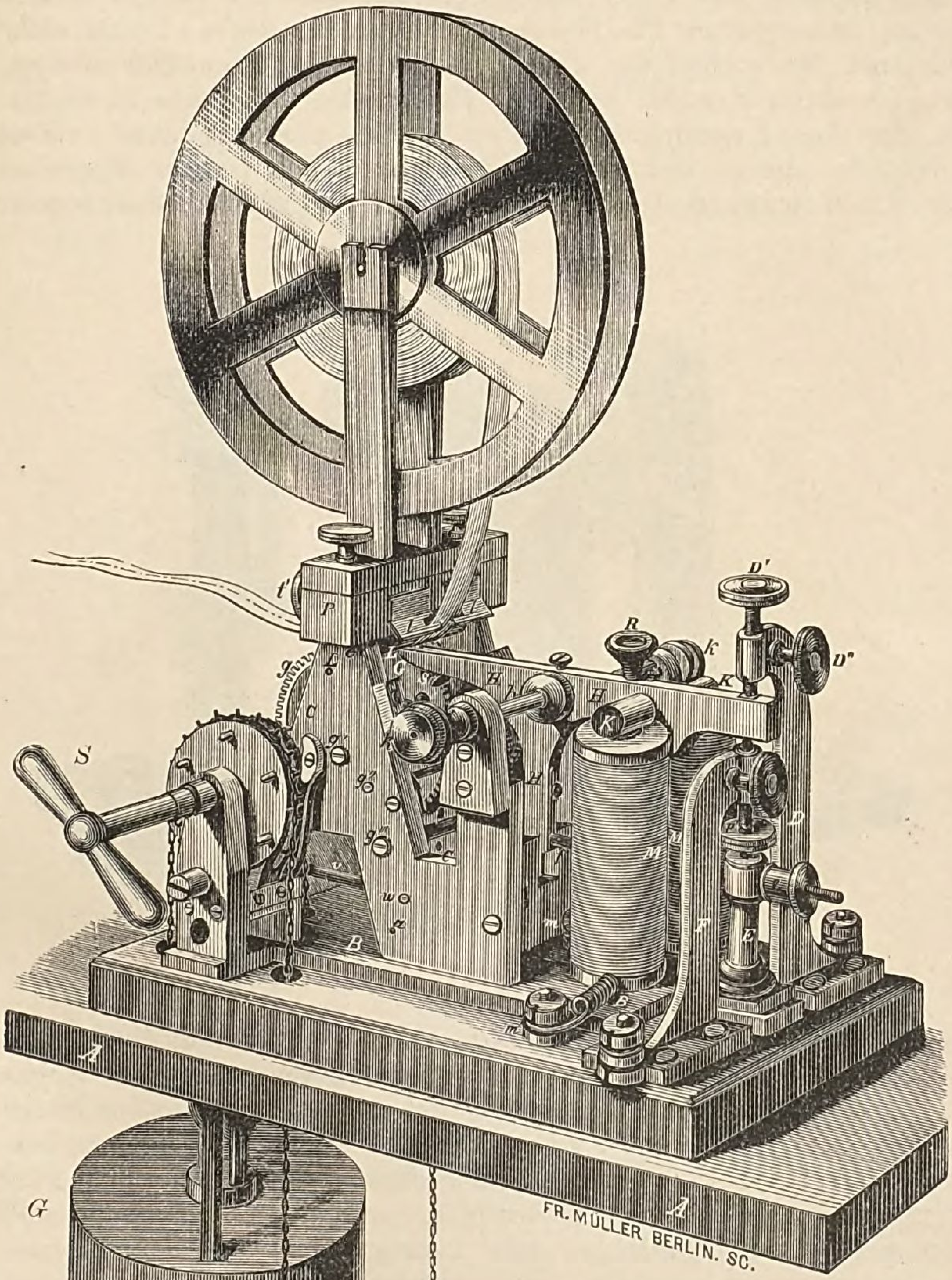
Fig. 349.



Der Strom kommt in die Drahtwindungen des Elektromagnets bb. Ueber dessen Kernenden befindet sich der eiserne Anker cc an einem Hebel, welcher an seinem äussersten Ende d eine Spitze eingeschraubt trägt. Bei jeder Abwärtsbewegung des Ankers wird die Spitze in die Höhe gehoben und drückt in einen Papierstreifen, der sich an ihr vorbeibewegt, ein Zeichen ein. Ist der Strom nur ein ganz kurzer, so wird der Magnet nur momentan erregt, der Anker also nur momentan angezogen; dann macht die Spitze einen Punkt auf den Papierstreifen. Dauert der Strom etwas längere Zeit, so bewegt sich ein grösseres Stück des Papiers an dem Stift vorbei und es erscheint ein Strich auf demselben. Aus Punkten und Strichen ist aber das Morse'sche Alphabet zusammengesetzt. Damit der Anker nicht bis zur Berührung mit den Magneten angezogen wird, steht eine Säule s vor den Magnetkernen, auf welche der Hebel d aufschlägt, bevor noch der Anker die Kerne berühren kann. In dieser einfachen Weise werden die Zeichen bei dem Morse'schen Schreibapparat hervorgebracht. Die

Fig. 350 zeigt den ursprünglichen Morse'schen Schreibapparat im Ganzen. Das Papierband befindet sich aufgerollt auf einem Papierträger und geht durch einen Schlitz zwischen zwei Messingstücken ll und dann zwischen zwei Walzen hindurch, welche auf einander auf-

Fig. 350.

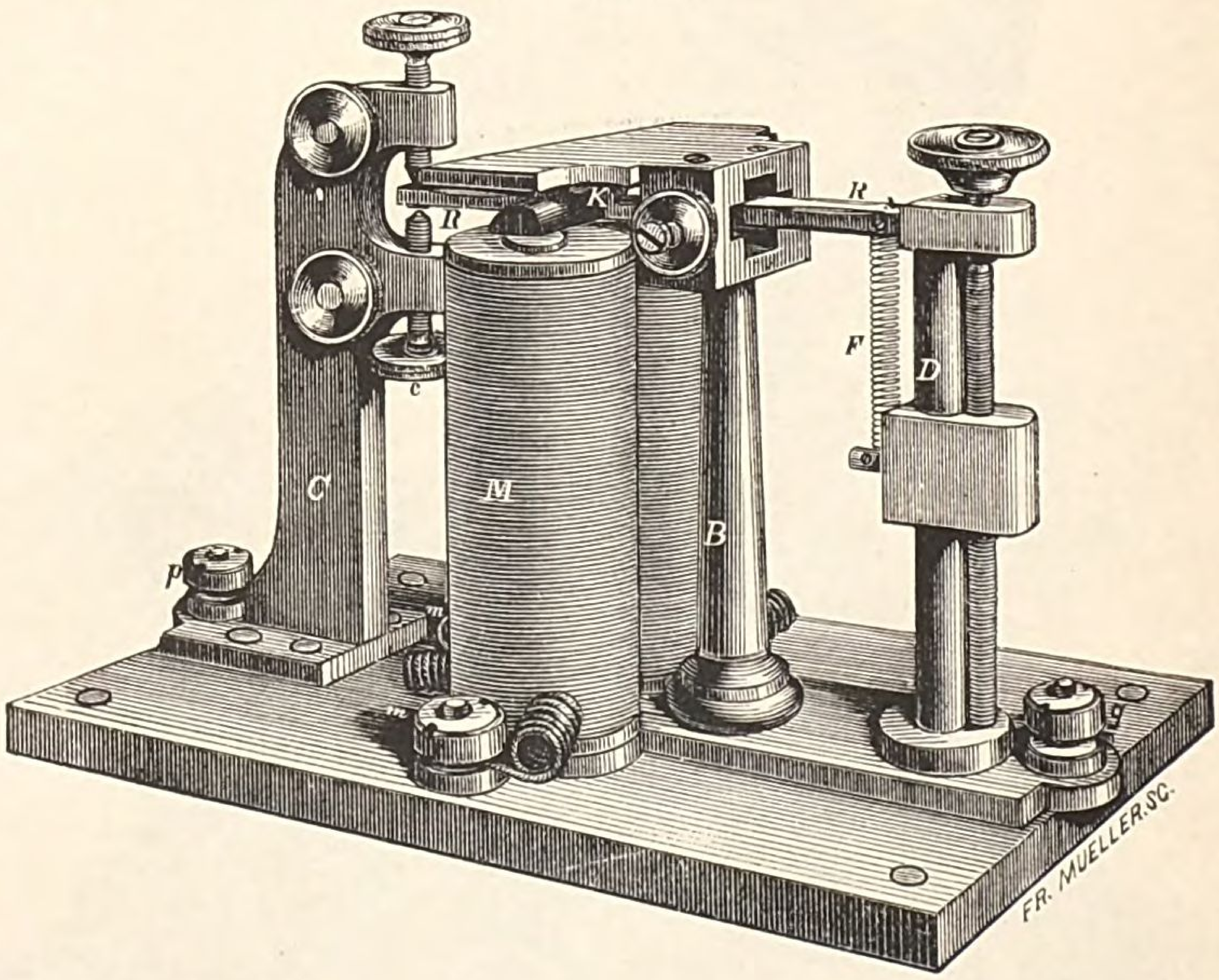


liegen. Die obere Walze wird durch ein Uhrwerk gleichmässig bewegt und nimmt durch Reibung die untere Walze und den Papierstreifen mit. Die Bewegung wird durch ein Gewicht G hervorgebracht, welches an einer Kette über eine Rolle läuft und dann durch einige in einander greifende Räder die obere Walze in Rotation bringt.

Der Schlüssel S dient zum Aufziehen des Gewichtes, wenn es abgelaufen ist. Das Räderwerk ist es allein, welches diesen Apparat complicirt aussehen lässt, der im Princip und in der Benutzung höchst einfach ist.

Wenn nun zwei Stationen je einen Stromschlüssel, Batterie und Schreibapparat haben, so können sie mit einander telegraphisch verkehren, wenn sie nur die Morseschrift kennen. Indess zeigte sich hier bald eine Schwierigkeit. Die Elektromagnete des Schreibapparats brauchen einen ziemlich kräftigen Strom, um überhaupt im Stande zu sein, den Anker gehörig anzuziehen, so dass der Stift deutliche Zeichen eindrücken kann. Bei grosser Entfernung der beiden Stationen ist aber der Widerstand der Drahtleitungen ein so grosser, dass man schon

Fig. 351.

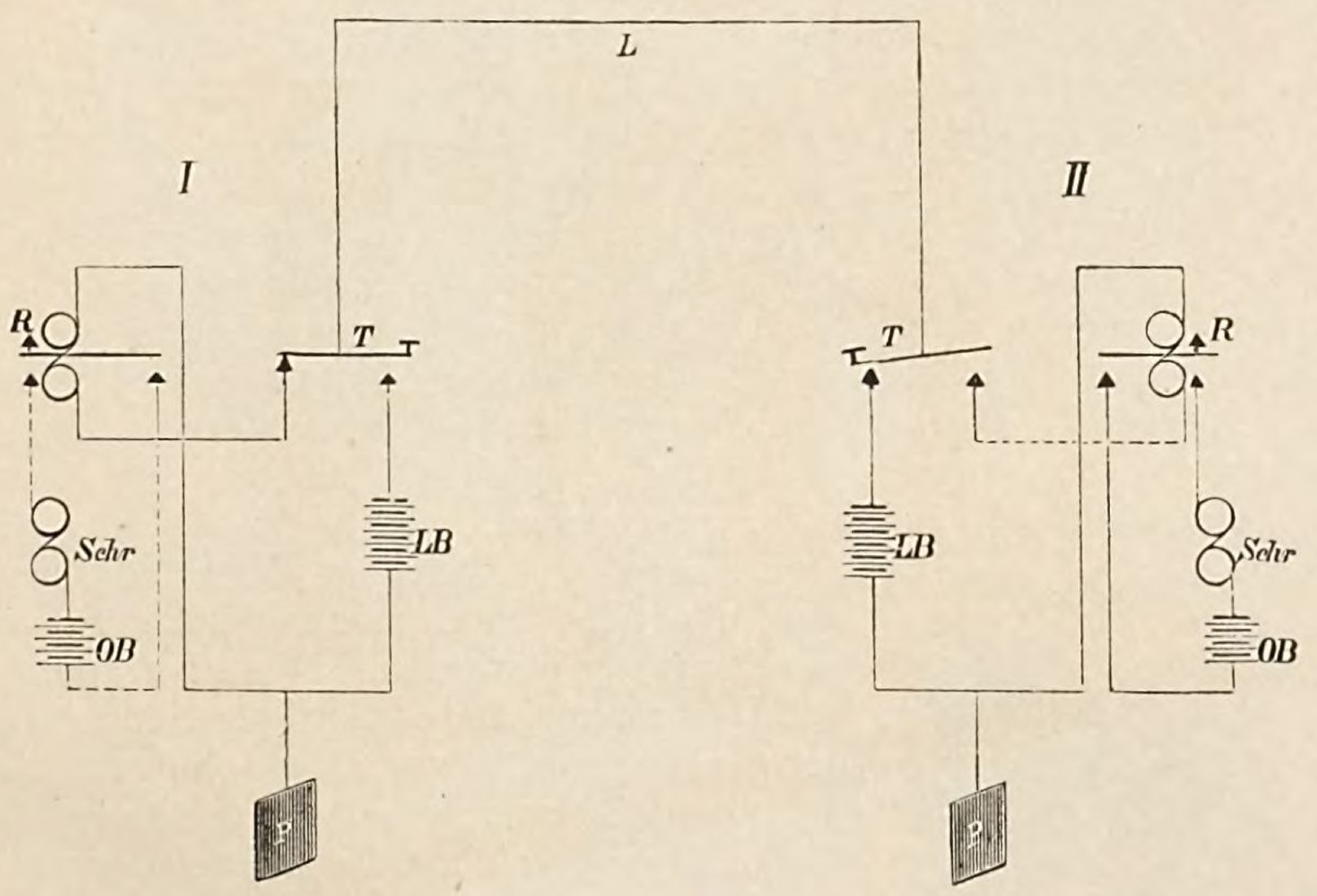


eine sehr grosse Batterie von galvanischen Elementen anwenden müsste, um den Elektromagneten der entfernten Station kräftig zu erregen.

Deshalb hat Wheatstone zuerst ein sehr sinnreiches Mittel angegeben, welches diese Schwierigkeit beseitigt. Er lässt nämlich den Strom, der durch die ganze Leitung fliesst, nicht direkt den Elektromagneten des Morseapparates erregen, sondern vielmehr einen anderen Magneten, dessen Anker nur eine ganz geringe Bewegung zu machen braucht, um einen besondern Strom zu schliessen, welcher dann seinerseits den Morseapparat in Thätigkeit bringt. Einen solchen Apparat nennt man ein Relais. In Fig. 351 ist die Abbildung eines solchen gegeben. Der Elektromagnet M desselben, der mit sehr vielen Umwindungen eines dünnen Drahtes umgeben ist, wird von dem Strom, der von der entfernten Station kommt, erregt, auch wenn dieser sehr schwach ist, und zieht dadurch den Anker K ein wenig an. Dieser

braucht aber nur eine ganz geringe Bewegung zu machen, um auf die Schraubenspitze R zu drücken und dadurch einen besondern Strom zu schliessen. Es wird nämlich an der Empfangsstation ein Strom einer besondern Batterie bei g eingeleitet, geht durch die Säule D und den Anker K, und wenn K auf R aufliegt, durch R und C zur Klemmschraube p und dann durch den Morseapparat und zur Batterie zurück. Auf diese Weise erregt der Strom von der anderen Station gar nicht den Morseapparat selbst, sondern stellt blos einen Contakt her, durch den eine besondere Batterie den Morsemagneten erregt. Hört der Linienstrom auf, so wird der Anker K durch eine Feder F von R wieder abgehoben. Durch diese Einrichtung des Relais ist also die grosse Schwierigkeit, die das Telegraphiren auf weite Entfernungen hat, beseitigt. Die schwächsten Ströme genügen schon, um

Fig. 352.



den Anker des Relais in eine geringe Bewegung zu bringen, und eine ganz geringe Verschiebung desselben genügt schon, um den Strom einer Batterie zu schliessen, die den Morseapparat in Thätigkeit bringt.

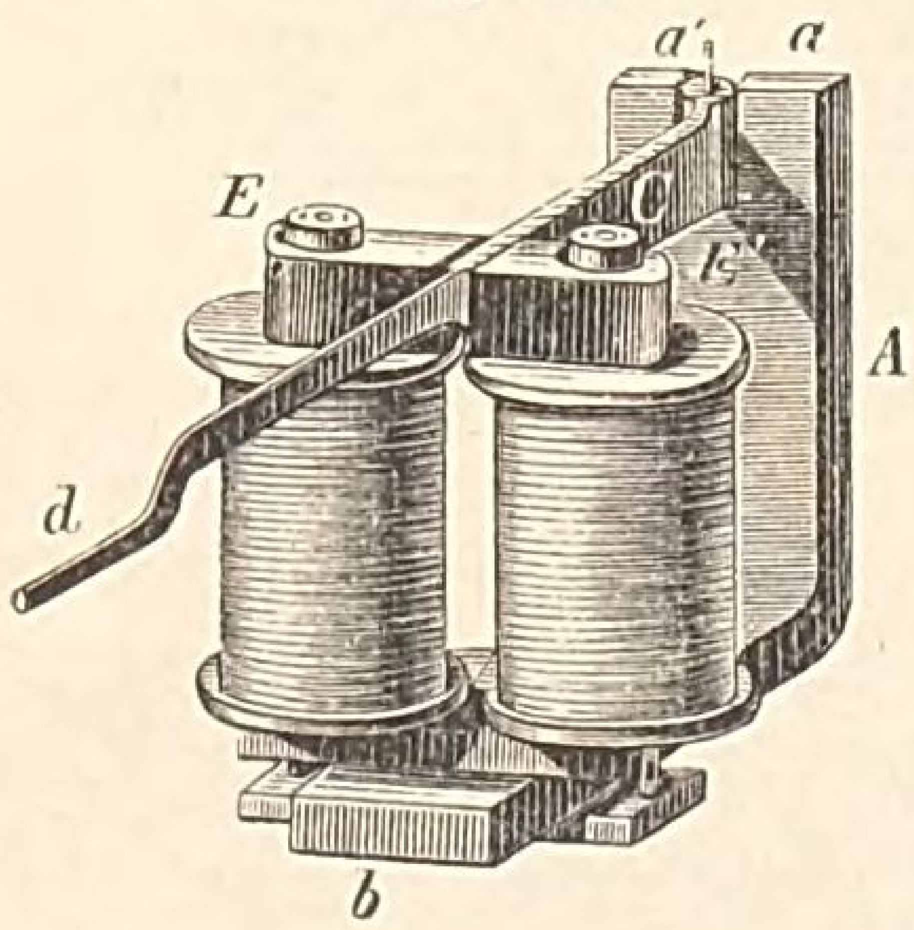
Bei der Anwendung eines Relais muss aber jede Station zwei verschiedene Batterieen haben, eine für den Strom nach der anderen Station, die sogenannte Linienbatterie, und eine für den eigenen Morseapparat, die Lokalbatterie. Wie zwei Stationen mit diesen Apparaten eingerichtet und verbunden sein müssen, ist aus Fig. 352 zu ersehen. Darin bedeutet LB die Linienbatterie, OB die Lokalbatterie, Schr den Morse'schen Schreibapparat, R das Relais, T den Taster und P die Erdplatte. Wird z. B. auf der Station II der Taster heruntergedrückt, also telegraphirt, so geht der Strom von dem einen Pol der Linienbatterie II durch den Taster II und die Leitung L zum Taster I. Von diesem geht er um das Relais R zur Erdplatte P und durch die Erde zur Aufgabestation zurück. Durch die Erregung des

Relais wird aber der Anker desselben angezogen und dadurch der Stromkreis der Ortsbatterie geschlossen und der Schreibapparat in Thätigkeit versetzt.

Das Relais ist der empfindlichste Apparat beim Telegraphiren; denn die telegraphirten, also aus weiten Entfernungen kommenden Ströme müssen, auch wenn sie sehr schwach sind, das Relais zum Funktioniren bringen. Es muss ferner im Moment, wo der Strom aufhört, auch der Anker des Relais losgelassen werden, damit die Zeichen am Morseapparat exakt entstehen. Darin besteht nun ein grosser Mangel des eben beschriebenen Relais. Denn in diesem wird der Anker immer durch eine Feder F wieder in seine Gleichgewichtslage zurückgezogen, sobald der Strom aufhört. Es muss also, namentlich beim raschen Telegraphiren, die Feder sehr exakt wirken und das ist schwer praktisch zu erreichen. Dazu kommt, dass bald ein stärkerer, bald ein schwächerer Strom auf das Relais wirkt, indem ja bald aus grösserer, bald aus geringerer Entfernung telegraphirt wird, man also der Feder nicht immer die gleiche Spannung geben kann.

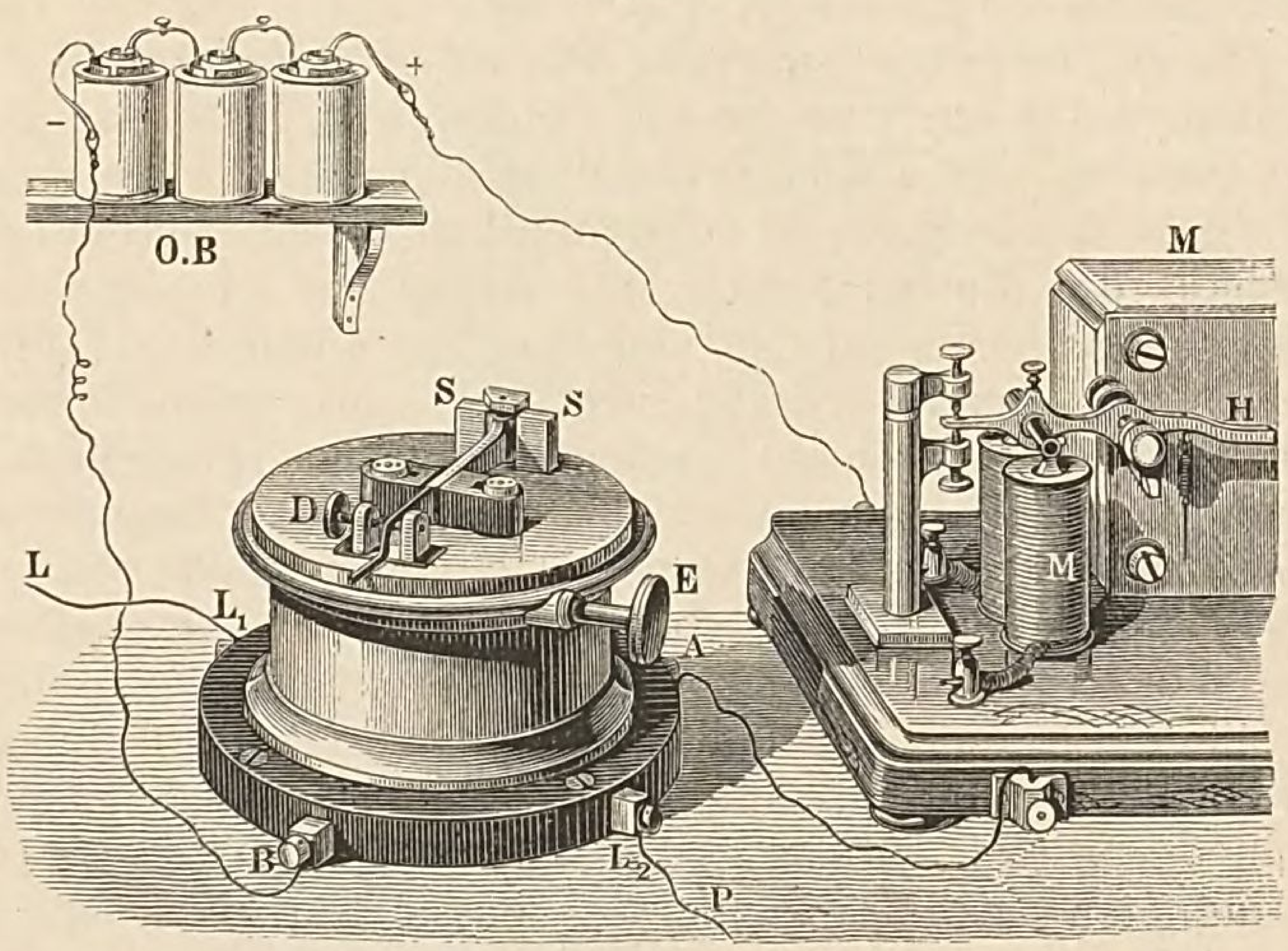
Diesem Mangel suchten verschiedene Construkteure auf verschiedene Weise abzuhelfen. Radikal wird er dadurch beseitigt, dass man das Relais ganz ohne Feder construirt. Dies haben Siemens & Halske gethan, indem sie durch den Linienstrom einen Magneten nicht erst erregen, sondern durch ihn nur schon vorhandene Magnetpole verstärken und schwächen liessen. Nach diesem Princip construirten sie das polarisirte Relais, welches in Fig. 353 abgebildet ist. Ein permanenter Stahlmagnet A b ist rechtwinklig gebogen und hat bei a a′ seinen Südpol, bei b seinen Nordpol. Auf dem Nordpol sitzen zwei Kerne aus weichem Eisen auf, welche also ebenfalls durch magnetische Induktion nordmagnetisch werden. Diese Nordpole sind mit Draht umwickelt. An dem Südpol a a′ ist der Stahlmagnet etwas aufgeschnitten und in dem Zwischenraume befindet sich der lange Hebel C d aus weichem Eisen, welcher um eine vertikale Axe etwas drehbar ist. Dieser Hebel ist also durch magnetische Induktion ebenfalls südmagnetisch, wie der Pol, an dem er befestigt ist. Der Hebel befindet sich zwischen den beiden Nordpolen im Gleichgewicht, wenn kein Strom durch die Spiralen der Kerne läuft. Nun wird der Strom der Linienbatterie an der Empfangsstation zuerst durch eine primäre Spirale gesendet, um welche eine sekundäre Spirale gewickelt ist, die mit den Windungen des Relais verbunden ist. Sowie der Linienstrom zu fliessen anfängt, wird in der sekundären Spirale ein Strom erregt, und dieser fliesst einen Moment in solcher Richtung um beide Magnetkerne, dass der eine, z. B. E, stärker nordmagnetisch, der andere E′ schwächer nordmagnetisch oder vielleicht gar südmagnetisch wird. Dadurch wird der Hebel C d an E herangezogen und seine Spitze d schliesst dadurch den Lokalstrom. Sowie der Linienstrom aufhört, fliesst der sekundäre Strom umgekehrt durch die Windungen und macht nun E′

Fig. 353.



stärker und E schwächer nordmagnetisch. Dadurch wird der Hebel sofort nach E′ gezogen und der Lokalstrom geöffnet. Auf diese Weise erhält man die Relaiswirkungen ganz ohne Feder, und mit vollkommener Sicherheit und Präcision folgt der Anker den Stromschliessungen und Stromöffnungen. Es existiren noch eine ganze Reihe anderer Construktionen des Relais, deren Princip aber im Wesentlichen dasselbe ist.

Fig. 354.



Die Verbindung des polarisirten Relais, welches zweckmässig die Form einer Dose hat und daher auch **Dosenrelais** genannt wird, mit dem Schreibapparat M und der Ortsbatterie O.B ist in Fig. 354 gezeichnet. Sobald durch den Linienstrom, der bei L_1 eintritt und bei L_2 in die Erde geht, der Hebel des Relais gegen die Spitze D gezogen ist, ist die Ortsbatterie geschlossen, von der der Strom bei B in das Relais eintritt und bei A zum Schreibapparat geht.

Durch Zuhülfenahme des Relais ist es nun möglich, auf weite Entfernungen ebenfalls sicher zu telegraphiren. Das Buchstabensystem bei dem Morsetelegraphen wird aus den beiden Elementarzeichen Punkt und Strich zusammengesetzt und zwar jetzt in folgender Weise:

a	ä	b	c	d	e	f	g	h	i	j
. —	. — . —	— . . .	— . — .	— . .	.	. . — .	— — .		. .	. — — —

k	l	m	n	o	ö	p	q	r
— . —	. — . .	— —	— .	— — —	— — — .	. — — .	— — . —	. — .

s	t	u	ü	v	w	x	y	z	ch
. . .	—	. . —	. . — —	. . . —	. — —	— . . —	— . — —	— — . .	— — — —

1	2	3	4	5	6
. — — — —	. . — — —	. . . — —	 —		—

7	8	9	0
— — . . .	— — — . .	— — — — .	— — — — —

Ausser diesen Zeichen sind noch eine grosse Zahl einzelner Dienstzeichen international verabredet.

Bei der beschriebenen Einrichtung der Morsetelegraphie wird die Linienbatterie der Aufgabestation durch den Taster geschlossen, wenn

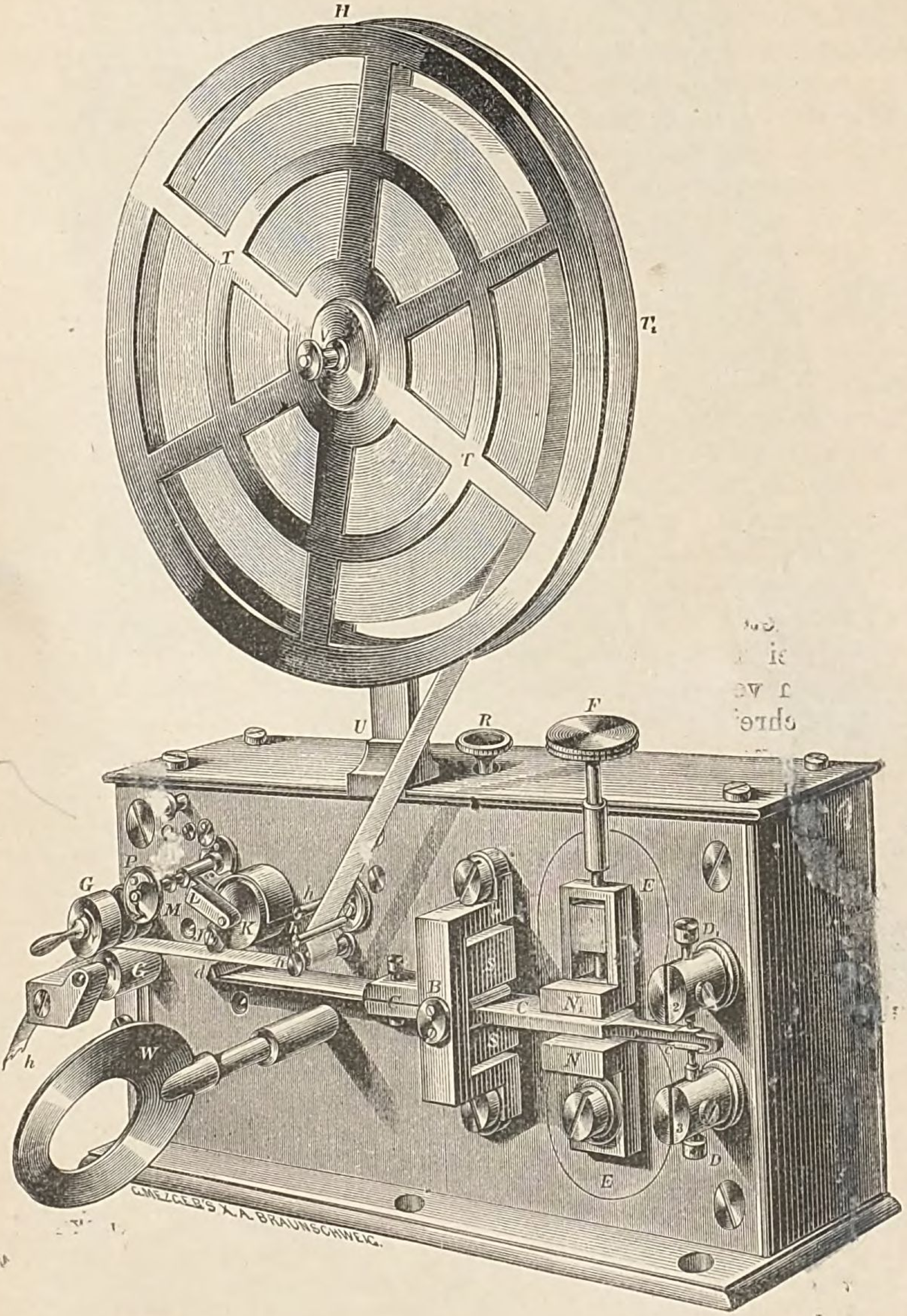
ein Zeichen telegraphirt werden soll, sonst ist sie offen und es geht sonst kein Strom durch die Linie. Man nennt dies das Telegraphiren mit Arbeitsstrom. Häufig jedoch lässt man dauernd einen Strom durch die Linie gehen und das Telegraphiren besteht dann darin, dass dieser Strom in bestimmter Weise, länger oder kürzer, unterbrochen wird. Dies nennt man Telegraphiren mit Ruhestrom. Jede von diesen beiden Methoden hat gewisse Vorzüge und es werden daher auch beide gleich häufig angewendet.

Der Morse'sche Schreibapparat, wie er oben beschrieben ist, gab die telegraphirten Buchstaben durch Punkte und Striche wieder, die durch den Stift in das Papier eingedrückt wurden. Es zeigte sich aber bald, dass diese Zeichen nicht deutlich genug werden und man suchte deshalb die Buchstabenzeichen farbig zu schreiben. Danach nennt man den früher beschriebenen Apparat einen Stiftschreiber, während man die nun zu erwähnenden Farbschreiber nennt. Um die Schrift farbig zu erzeugen, befestigten nach früherem Vorgange Digney und Baudoin statt des Schreibstiftes eine Schneide an den Anker des Morsemagneten und liessen durch diese Schneide den Papierstreifen gegen ein mit Farbe versehenes Rad drücken. Dadurch wurden die Zeichen alle farbig erzeugt. Da für den Elektromagneten des Morseapparates ähnliche Schwierigkeiten sich ergeben, wie für das Relais, dass nämlich die Feder den Anker nicht stets sofort genügend zurückzieht, wenn der Strom aufhört, so haben Siemens & Halske auch für den Magneten des Morseapparates dasselbe Princip angewendet, welches sie bei ihrem polarisirten Relais benutzten. Sie brachten nämlich schon von vornherein permanente Magnete an dem Morseapparat an. Diese Schreibapparate, die zugleich mit einer Färbevorrichtung versehen sind, nennt man polarisirte Farbschreiber, und Fig. 355 giebt die Abbildung eines solchen. Bei ihnen steht der Elektromagnet ebenso wie beim polarisirten Relais auf dem Nordpol eines Stahlmagneten, während der Anker, das ist hier der Schreibhebel, zwischen den Südpolen des Stahlmagnets drehbar befestigt ist und zwischen ihnen oscilliren kann. In der Fig. 355 ist der Schreibhebel C um eine zwischen den Südpolen $S S_1$ des Stahlmagneten befestigte Axe drehbar. Bei B ist seine Drehungsaxe. Auf den Nordpolen $N N_1$ sitzt der Elektromagnet E, der in der Figur nicht gezeichnet ist. Die Färbung der Schrift wird nun durch die Farbrolle K hervorgebracht, welche mit einem mit Farbe getränkten Tuch umhüllt ist. An ihr färbt sich stets der Rand des kleinen Farbrädchens J, welches dicht über dem Papierstreifen sich befindet. Sowie ein Strom durch den Apparat geht, wird der Schreibhebel rechts bei $N N_1$ heruntergezogen und hebt sich in Folge dessen links in die Höhe und drückt mit seiner Schneide d den Papierstreifen gegen das Farbrädchen J. Dadurch wird stets eine sichere, farbige Schrift erzeugt.

Nach vielen Veränderungen ist jedoch jetzt bei den Telegraphen in der deutschen Reichstelegraphie die Farbvorrichtung anders eingerichtet. Die Farbe befindet sich nämlich jetzt in einem Kästchen, in welches das Farbrad taucht. Dieses Farbrad hat aber nicht wie früher eine feststehende Axe, sondern es wird vielmehr durch den

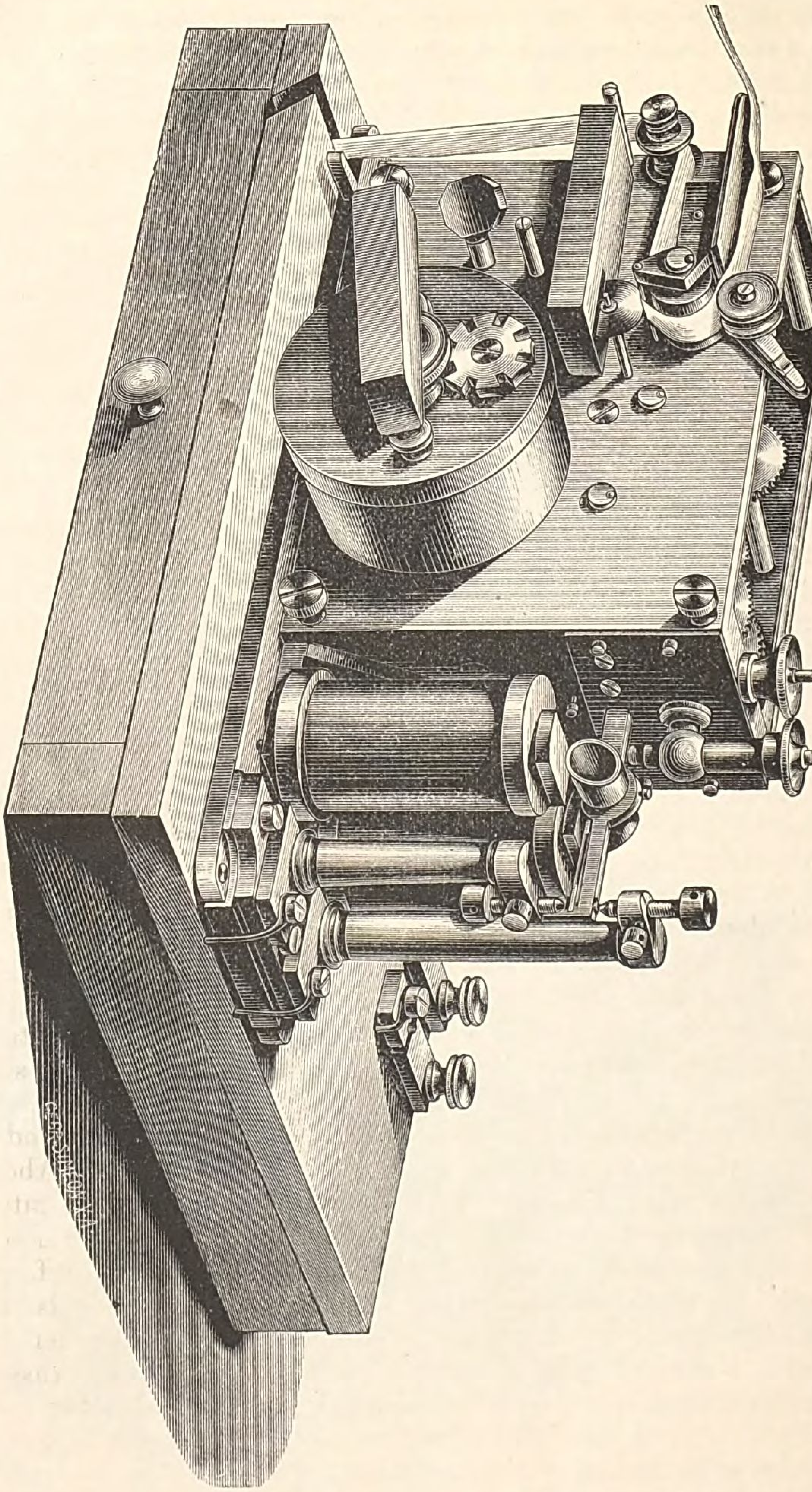
Schreibhebel gehoben und an den Papierstreifen angedrückt, wenn ein Strom durch den Apparat geht. Zu dem Ende setzt sich der Schreibhebel des Elektromagneten in dem Kasten des Apparats bis zur

Fig. 355.



Axe des Farbrädchens fort und umfasst diese mit einem Griffe. In den jetzt in Deutschland allgemein gebrauchten Morsefarbschreibern, von denen Fig. 356 eine Abbildung giebt, befindet sich die Papierrolle in dem Kasten, welcher den Boden des Apparates bildet, und wird

Fig. 356.



durch die in der Figur sichtbare Art und Weise herausgezogen. Die Triebkraft für das Uhrwerk besteht in einer Feder, welche in dem grossen Federhaus sich befindet und durch den Schlüssel aufgezogen

wird. Der Elektromagnet dieses Apparates besteht aus hohlen Eisenröhren statt der massiven Eisenkerne, damit der Magnetismus durch den Strom rasch entsteht und verschwindet. Der Schreibhebel setzt sich in dem Kasten des Apparates fort und hebt, wenn er angezogen wird, das Farbröllchen, welches sich dadurch an den Papierstreifen andrückt.

Bei den ursprünglichen Morseapparaten musste das Triebwerk, welches den Papierstreifen bewegte, stets durch einen Beamten ausgelöst und gehemmt werden, wenn eine Depesche ankam. Es war dazu an passender Stelle ein Sperrhaken angebracht, welcher in eines der Räder eingreifen und dadurch die Bewegung hemmen konnte, und welcher andererseits, sowie der Apparat in Gang kommen sollte, durch den Beamten von dem Rade fortgedreht werden musste. Es erwies sich aber in der Praxis an vielen Stellen nothwendig, dieses Ingangsetzen des Apparates selbstthätig geschehen zu lassen, so dass auch ohne die Anwesenheit eines Beamten die Depesche sich aufzeichnete. Man musste also am Besten dem Schreibhebel selbst die Funktion übertragen, das Triebwerk auszulösen, und eine solche Vorrichtung ist von Siemens & Halske angegeben worden. Man nennt sie die Selbstauslösung. In Fig. 357 a. f. S. ist diese Anordnung gezeichnet. Das Räderwerk des Farbschreibers ist durch die punktirten Kreise angegeben. Die Hemmung des Räderwerks geschieht durch die Trommel T, welche einen Daumen p trägt. Dieser wird nämlich durch den Hebel d fortgehalten, wenn der Hebel in seiner untersten Lage ist. Bei der Selbstauslösung wird nun blos dieser Hebel d selbstthätig gehoben, wenn das Depeschiren beginnt. Zu dem Zweck trägt der Schreibhebel H noch einen Arm h, welcher, wenn der Schreibhebel heruntergezogen wird, den Hebel d in die Höhe schiebt. Dadurch wird der Daumen p frei und die Bewegung des aufgezogenen Räderwerkes kann beginnen. Damit bei dem fortwährenden Oeffnen und Schliessen des Stromes während des Telegraphirens das Uhrwerk nicht stets ganz angehalten und wieder ausgelöst wird, ist der Daumen p an einer Feder befestigt, welche sich in der Trommel T befindet, und welche das Anhalten verlangsamt, so dass während des Depeschirens das Räderwerk stets in Gang bleibt.

Der Morseapparat mit allen seinen Verbesserungen und Verfeinerungen ist im Grunde ein sehr einfacher Apparat. Aber das Missliche ist bei ihm, dass er eine besondere Schrift nöthig hat. Dadurch ist es erstens nothwendig, das Telegraphiren und das Lesen der Telegramme besonders zu erlernen und zweitens die empfangenen Telegramme in gewöhnliche Schrift zu übertragen. Es entsteht dadurch ein Zeitverlust beim Telegraphiren, welcher gerade bei diesem raschen Verkehrsmittel möglichst vermieden werden sollte. Ausserdem können beim Telegraphiren selbst leicht Irrthümer entstehen, da ja die einzelnen Drucke auf den Taster rasch vorübergehen und nicht ohne Weiteres controllirt werden können.

Mit einem Morseapparat kann ein geübter Telegraphist ungefähr 100 Zeichen in der Minute depeschiren. Da ein Buchstabe durchschnittlich aus 3—4 Zeichen besteht, so kann er ungefähr 25—30 Buchstaben in der Minute telegraphiren. Um nun das Depeschiren sowohl

Fig. 357.

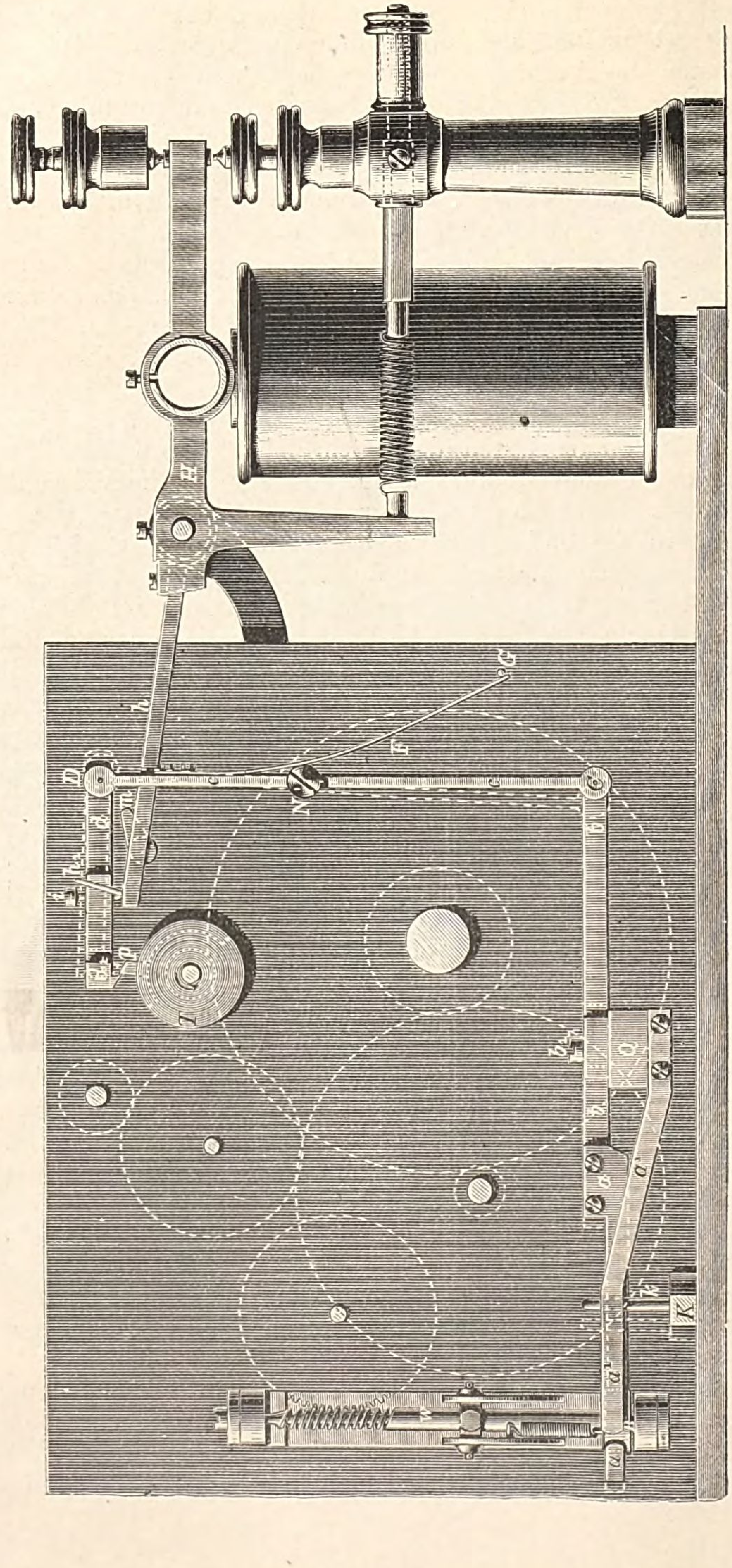
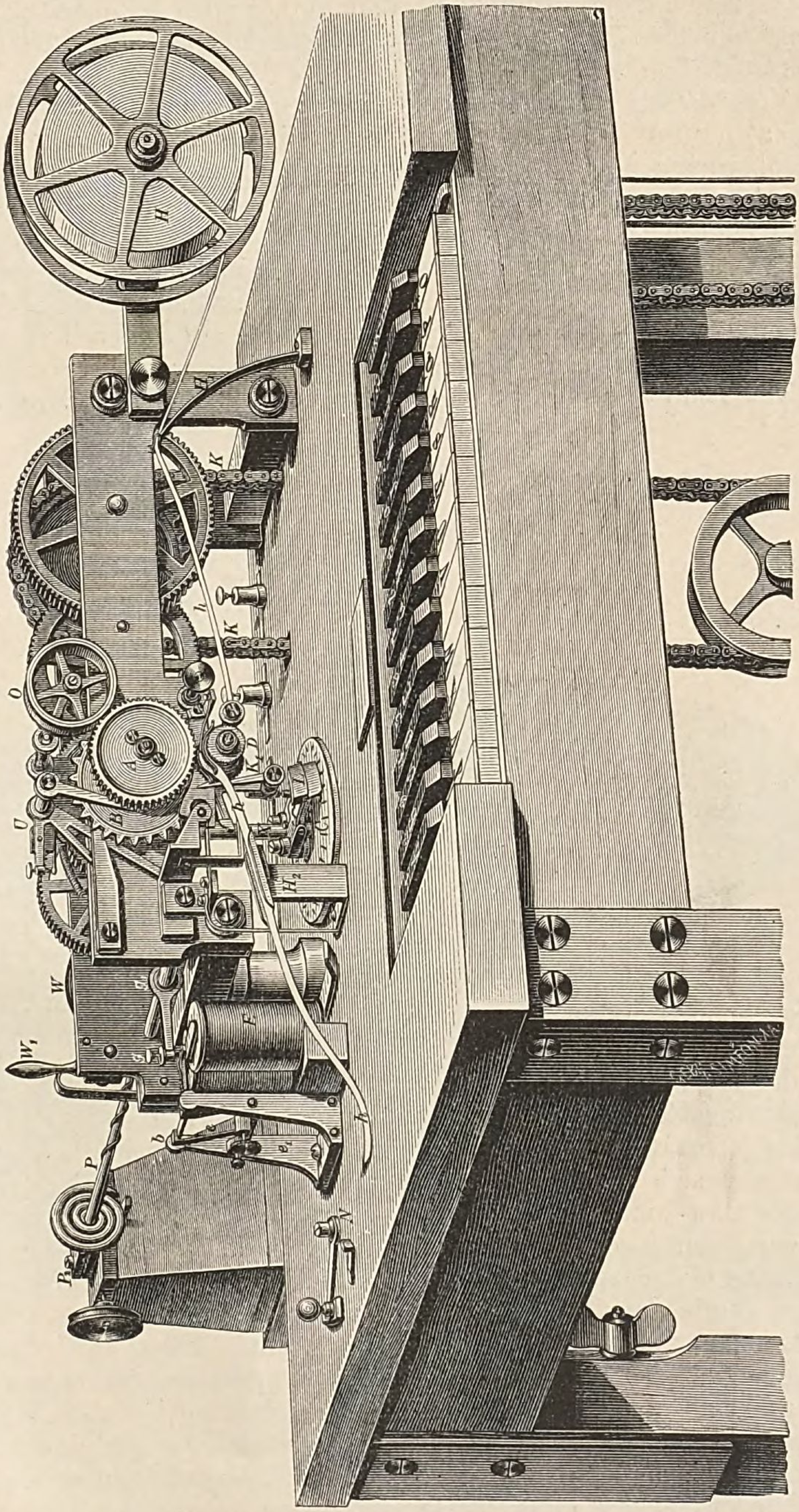


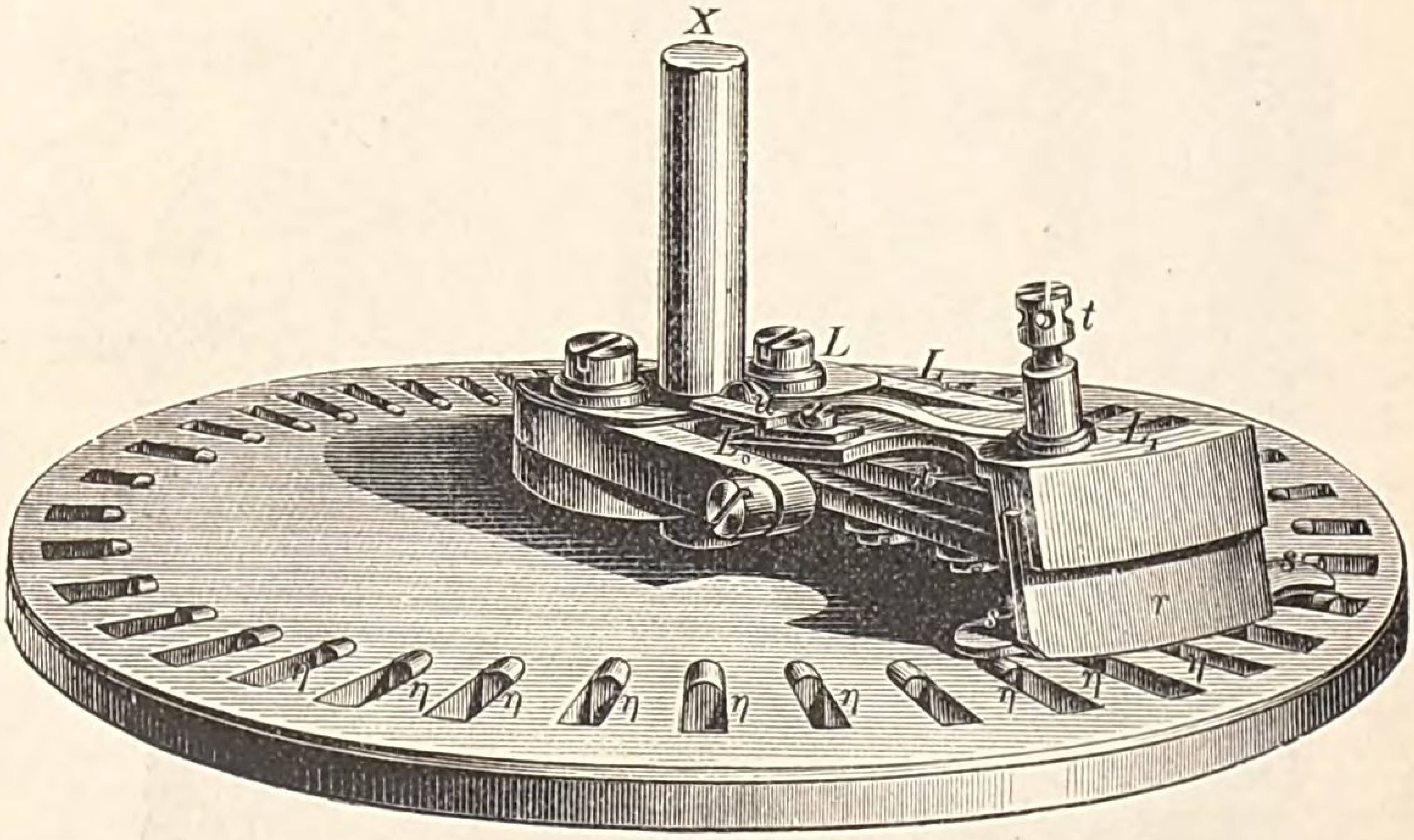
Fig. 358.



rascher als bequemer zu machen, und um das Telegramm sofort in Druckschrift an der Empfangsstation aufzeichnen zu lassen, hat man sich oft bemüht, eigene Typendrucktelegraphen zu construiren, welche dies ermöglichen sollten.

Von diesen Apparaten hat sich bisher nur der Typendrucktelegraph von Hughes lebensfähig erwiesen, mit welchem man trotz seines überaus complicirten Aussehens verhältnissmässig leicht und sicher telegraphiren kann und welcher die Geschwindigkeit des Zeichengebens auf das Fünffache gegen den Morseapparat erhöht. Der Hughes'sche Telegraph findet aus diesem Grunde immer mehr Eingang an grossen Telegraphenämtern, bei denen es auf Geschwindigkeit des Verkehrs ankommt. Hughes erlangte die ersten Patente auf seinen Typendrucker 1855 und sein Apparat wurde zuerst in Frankreich zwischen Paris und Lyon 1866 in Gebrauch genommen. Das Princip des Hughes'schen

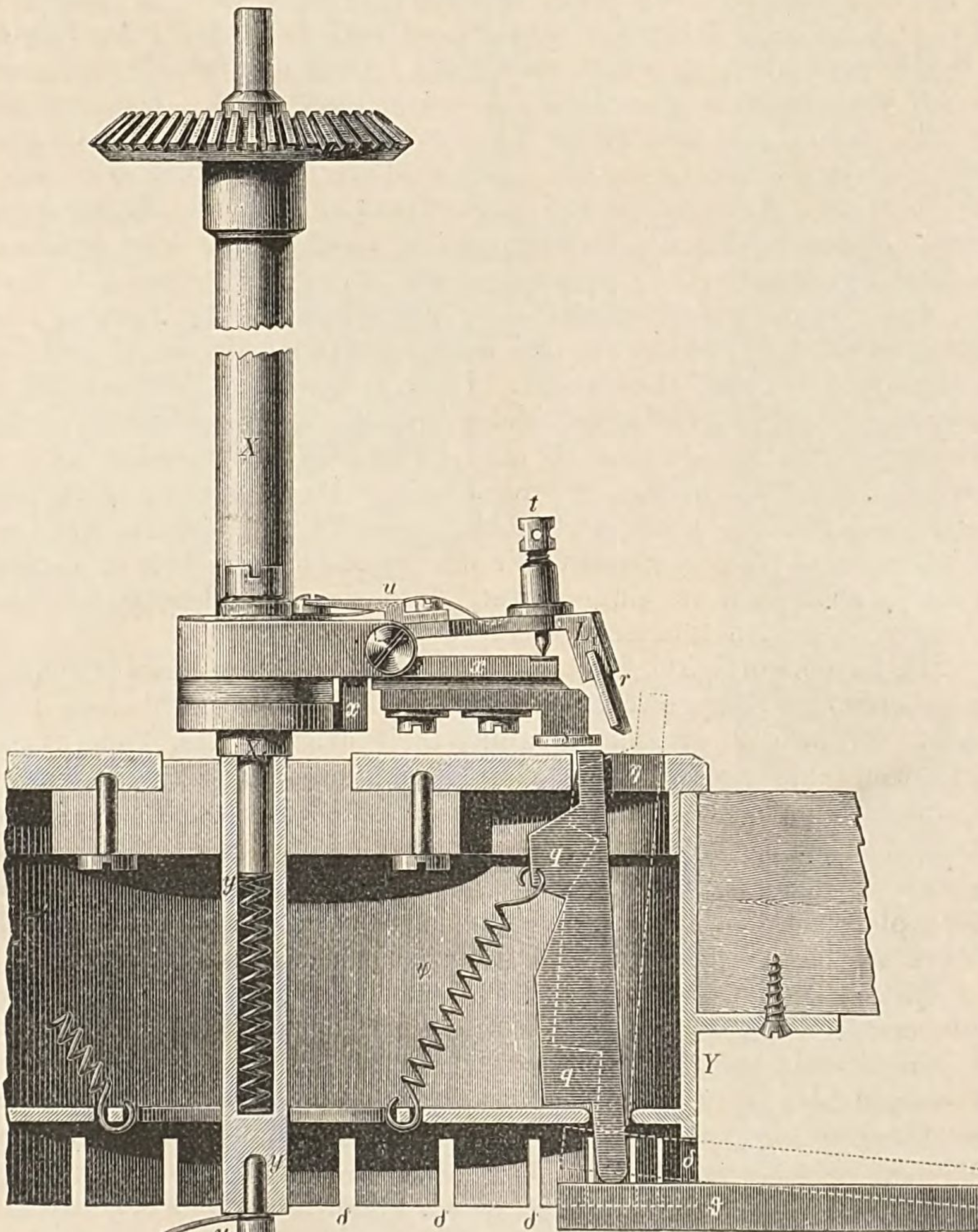
Fig. 359.



Telegraphen ist folgendes. Auf jedem Apparate befindet sich ein Rad, welches an seinem Umfange die Buchstaben, Zahlen und Zeichen enthält, das sogenannte Typenrad. Dieses wird durch ein Räderwerk in fortdauernde Rotation versetzt und zwar müssen die Typenräder an der Aufgabestation und an der Empfangsstation sich gleich rasch drehen und sich stets in gleicher Lage befinden, es muss Synchronismus der Bewegung an beiden Stationen stattfinden. Dieser Synchronismus wird durch einen Regulator hervorgebracht. Nun ist es blos nöthig, wenn der zu telegraphirende Buchstabe des Typenrades an die unterste Stelle angelangt ist, das Papier zu heben, so dass sich dieser Buchstabe auf dem Papier abdrucken kann. Dies wird durch den Elektromagneten erreicht, der von dem ankommenden Strom erregt wird. Zu dem Ende hat der Hughes'sche Typendrucker, von dem Fig. 358 die äussere Ansicht giebt, eine Klaviatur, welche auf den einzelnen Tasten die Buchstaben, Zahlen und Zeichen trägt, und durch welche beim Niederdrücken einer Taste ein Strom in die entfernte Station gesendet wird, sobald (oder kurz bevor) der zu druckende Buchstabe

an die unterste Stelle gelangt ist. Danach besteht also jeder Typendrucktelegraph aus einem Räderwerk, welches das Typenrad und die Nebenapparate in Bewegung setzt, aus dem Elektromagneten und der Klaviatur mit der Vorrichtung zum Schliessen des Stromes. In der Fig. 358 ist A das Typenrad, E der Elektromagnet, dessen

Fig. 360.



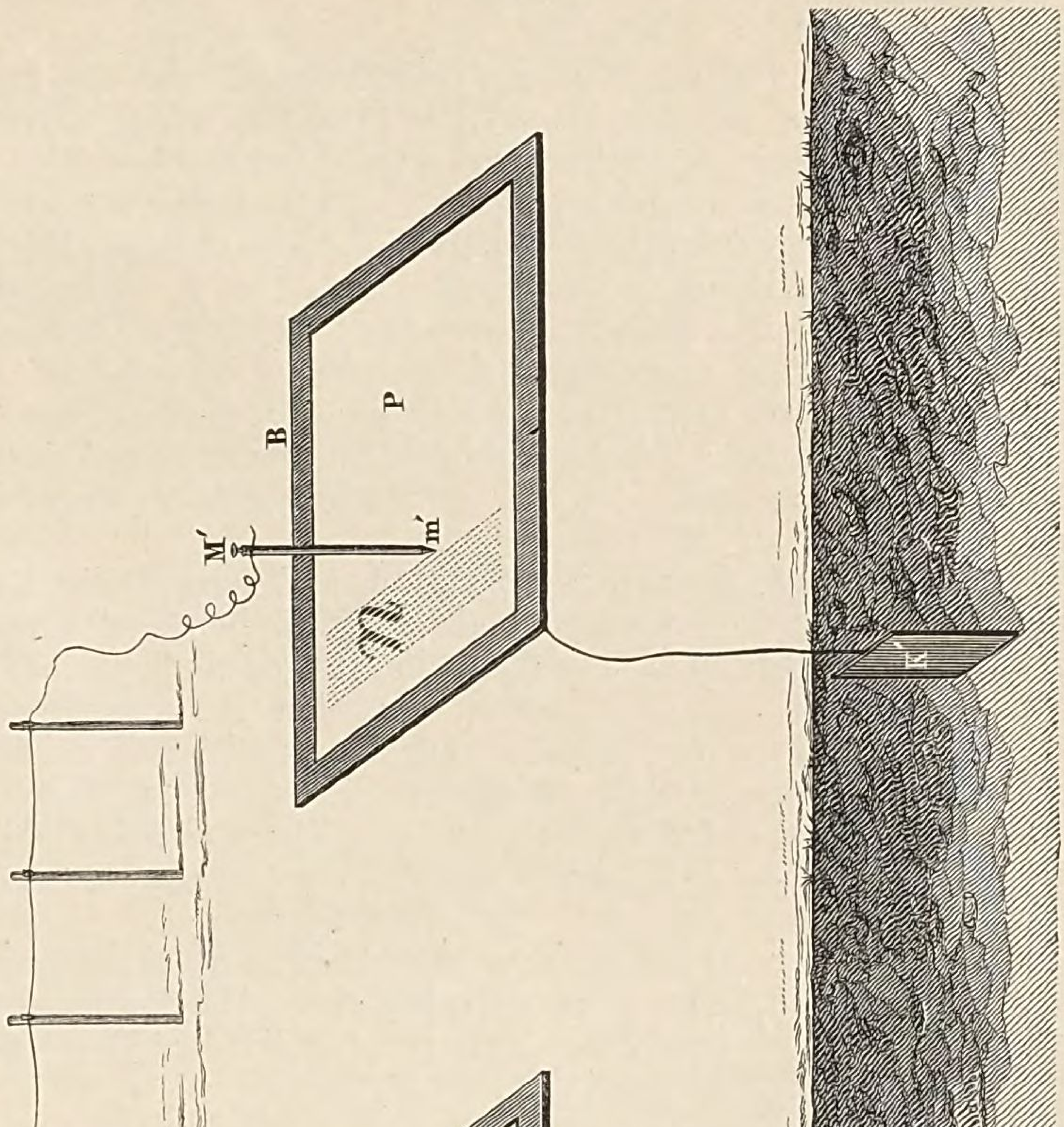
Anker das Druckrad D zur geeigneten Zeit gegen das Typenrad schnellen lässt. Die Klaviatur steht in Verbindung mit der Stiftscheibe C, über welcher der Läufer L rotirt. Der wichtigste Theil des Apparates ist gerade die Stiftscheibe mit dem Läufer. In Fig. 359 ist daher diese Stiftscheibe mit ihren Löchern η besonders abgebildet. Unter den Löchern befinden sich die einzelnen Stifte, die mit den

Tasten der Klaviatur in Verbindung sind und durch einen Druck auf die Tasten gehoben werden. Der Läufer L rotirt nun fortwährend über der Stiftscheibe, und zwar mit derselben Geschwindigkeit, wie das Typenrad. Sowie er aber an einen der gehobenen Stifte kommt, wird durch diesen Stift eine Trennung einzelner seiner Theile hervorgebracht, wie man aus Fig. 360 ersehen kann. Befindet sich der Stift q, welcher mit der Taste ϑ in Verbindung ist, in gehobener Lage, wie sie punktirt gezeichnet ist, so wird das Stück r des Läufers, die Reiberschiene, gehoben, sobald der Läufer an diese Stelle kommt, und es wird dadurch die Spitze t von x abgehoben. Dadurch geht aber ein Strom aus dem Stifte (der mit der Batterie verbunden ist) durch t nach X, der Läuferaxe, deren obere Hälfte von der unteren isolirt ist, und dann durch den Elektromagneten in die Leitung zum anderen Apparat. Da die Bewegung des Läufers nun eine synchrone mit dem Typenrad ist, so kommt gerade, wenn der betreffende Buchstabe des Typenrades eingestellt ist, der Strom in die Leitung, und dadurch wird das Papier an der zweiten Station einen Moment gehoben und die Type abgedruckt. Dies ist ganz im Allgemeinen die Einrichtung des Hughes'schen Telegraphen, bei dem im Speciellen noch eine grosse Menge von einzelnen Feinheiten vorhanden sind, die jedoch hier nicht beschrieben werden können. Der Hughes'sche Apparat ist ein mechanisches Kunstwerk. Alle seine Theile, und es sind deren eine übergrosse Menge, greifen mit der grössten Exaktheit in einander und sind dabei doch so eingerichtet, dass sie leicht herausgenommen und reparirt werden können.

Die Geschwindigkeit, mit der sich das Typenrad bewegt, ist eine sehr erhebliche. Für gewöhnlich macht es 100 bis 120 Touren in der Minute. Trotz der grossen Complicirtheit arbeitet der Apparat sehr exakt, weil eine grosse Reihe von Einrichtungen an ihm angebracht sind, durch die er seinen Gang selbst regulirt. Vor jedem Telegraphiren müssen sich die Beamten erst überzeugen, ob die beiden Typenräder synchron sich bewegen, was dadurch constatirt wird, dass man dieselbe Taste mehreremal drückt. Ist das nicht der Fall, dann müssen an den Triebwerken einige Regulirungen vorgenommen werden.

Mit den Morse'schen und Hughes'schen Telegraphen wird jetzt allgemein allein telegraphirt. Die früheren Nadel- und Zeigertelegraphen sind fast überall verdrängt. Eine andere Art der Telegraphen, welche aber sich noch nicht praktisch einbürgern konnte, bezweckt, die Schriftzüge selbst zu telegraphiren, und nicht blos Schriftzüge, sondern ganze Zeichnungen, und sie erreicht dies durch die chemischen Wirkungen des Stromes. Man nennt diese Telegraphen Copirtelegraphen. Eine ganze Reihe von Erfindern haben solche Copirtelegraphen auf verschiedene Weise hergestellt. Das Wesen derselben wird aus der Fig. 361 erkennbar sein, welches das Princip des Caselli'schen Pantelegraphen darstellt. Auf jeder der beiden Stationen befindet sich eine Metallplatte. In der Aufgabestation wird die Depesche mit einer nichtleitenden Harzlösung auf die Platte geschrieben, auf der Empfangsstation liegt ein mit Blutlaugensalzlösung getränktes Papier auf der Metallplatte. In beiden Stationen werden zwei Stifte durch ein Uhr-

Fig. 361.



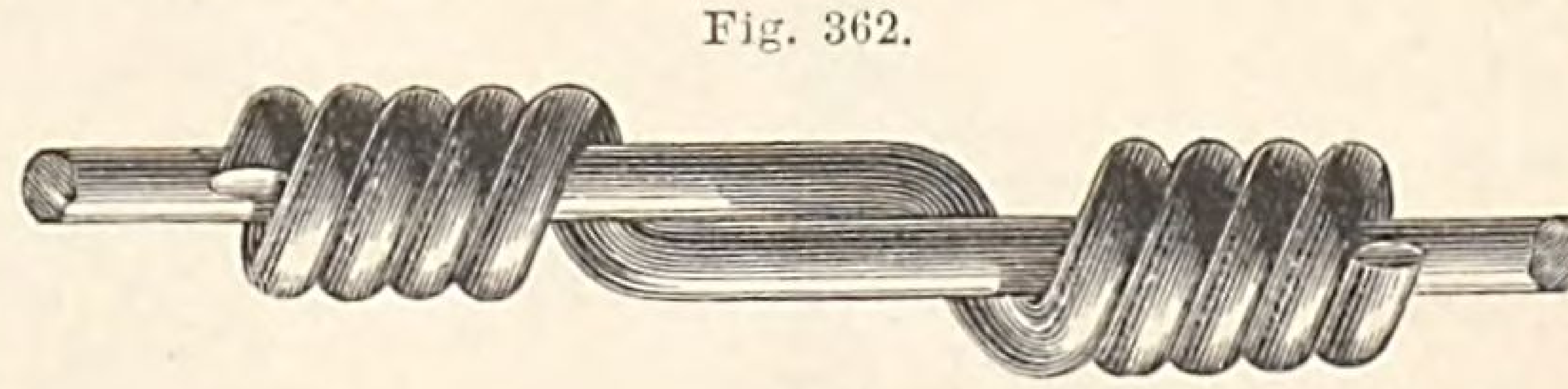
werk vollkommen synchron in Bewegung gesetzt, so dass sie nahe an einander liegende, parallele Striche auf den Platten machen. So lange

der Stift auf der ersten Station das leitende Metall berührt, geht ein Strom von der Batterie durch die Leitung zu dem Stift der zweiten Station und zersetzt dort das Blutlaugensalz, aus welchem sich Berliner Blau bildet, so dass auf der dortigen Papierplatte blaue Striche erscheinen. Sobald aber der Stift der ersten Station über den nichtleitenden Buchstaben sich bewegt, fliesst kein Strom durch die Leitung und das Papier der zweiten Station bleibt in Folge dessen weiss. Man erhält daher auf der Empfangsstation die Depeschen in weisser Schrift auf blauem Grunde. Die grosse Schwierigkeit bei diesem Telegraphen liegt in der Herstellung des übereinstimmenden Ganges beider Stifte, welche hier nicht durch den Strom selbst regulirt werden kann. Daher kommt es, dass diese Telegraphen, welche dem Endziel der Telegraphie am nächsten kommen, bisher noch keine grössere Verwendung gefunden haben.

Eine besondere Aufgabe in der praktischen Telegraphie ist die Verbindung mehrerer Stationen unter einander. Zwischen zwei Stationen, die mit einander telegraphiren wollen, liegen gewöhnlich eine Reihe von Zwischenstationen. Ausserdem ist von den Hauptstationen aus immer eine Umschaltung des Stromes nach anderen Linien erforderlich. Alle diese Anordnungen und Vorschriften, die unter dem Begriff der Schaltungslehre zusammengefasst werden, liegen ausserhalb des Rahmens dieses Buches, sie sind in speciellen Werken über Telegraphie enthalten.

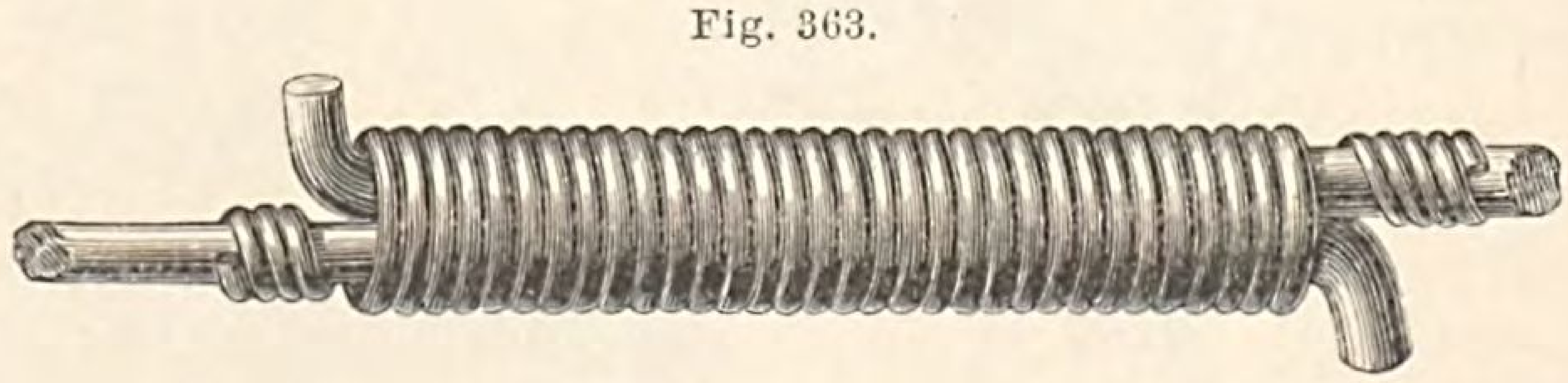
Die Verbindung zwischen zwei Landstationen kann entweder eine oberirdische sein, oder eine unterirdische. Man nimmt für die oberirdischen Leitungen jetzt Eisendraht von 4 Millimeter Durchmesser,

Fig. 362.



bei grossen Verkehrslinien auch von 5 Millimeter Durchmesser. Der Draht muss natürlich gut leitend und isolirt sein. Es müssen deshalb die einzelnen Drähte einer Linie sorgfältig mit einander verbunden werden, was durch feste Umschlingung der Enden erreicht wird, wie

Fig. 363.

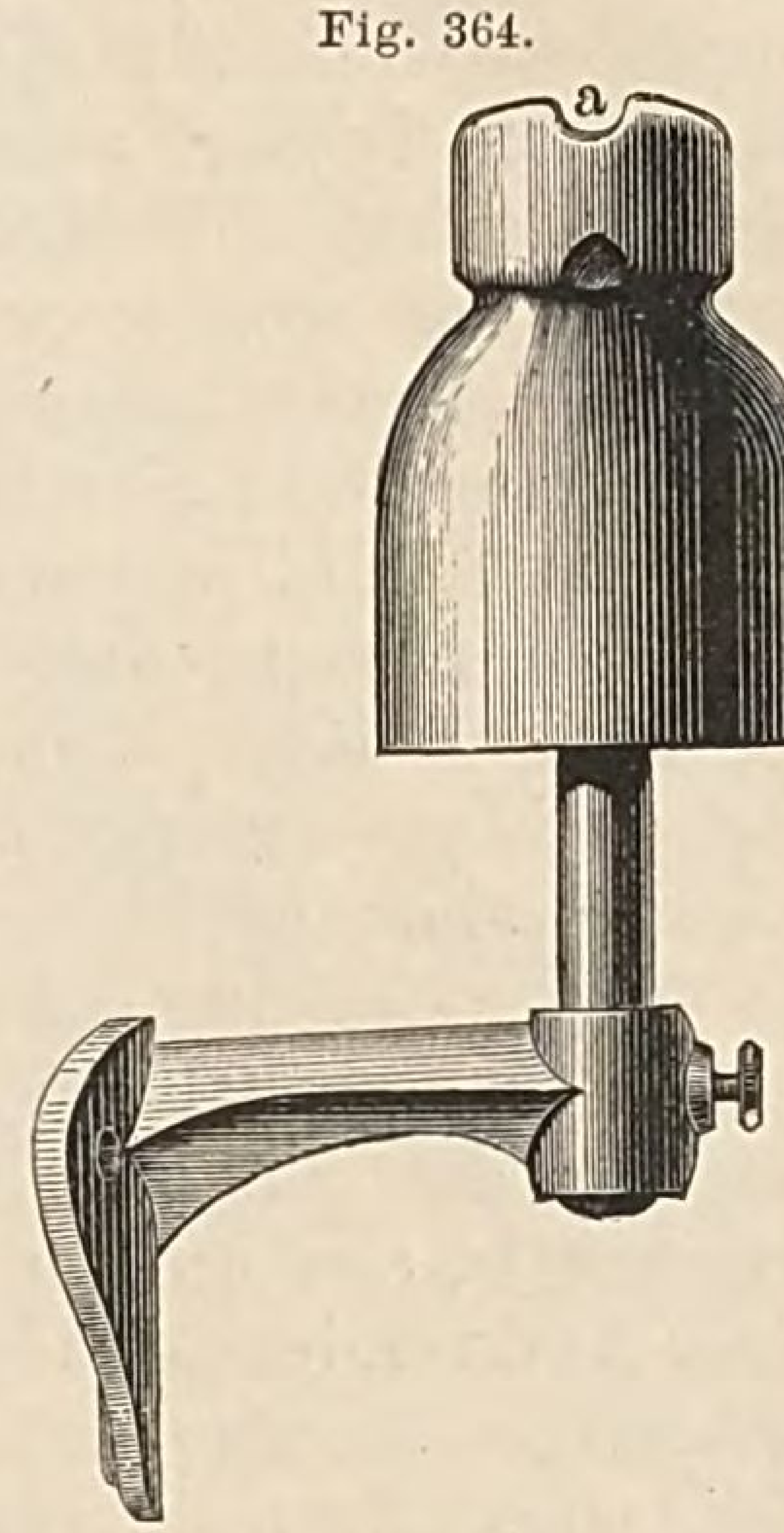


es Fig. 362 und 363 in zwei Beispielen zeigen. Um gute Isolation an den Unterstützungspunkten zu erreichen, verwendet man als Träger gewöhnlich Holzstangen und windet die Drähte um isolirende Porzellanglocken, wie Fig. 364 eine zeigt.

Viel schwieriger ist die unterirdische Verbindung zweier Stationen. Dann müssen die Drähte in das feuchte Erdreich oder in Flüsse ge-

legt werden, und um hier genügende Isolation zu erreichen und zugleich die Drähte vor Zerstörung durch Feuchtigkeit zu schützen, müssen sie mit isolirendem und widerstandsfähigem Material umkleidet werden. Man benutzt also dazu Kabel. Die Telegraphie hatte grosse Schwierigkeiten zu überwinden, bevor es gelang, genügend isolirte und sichere Kabel anzufertigen.

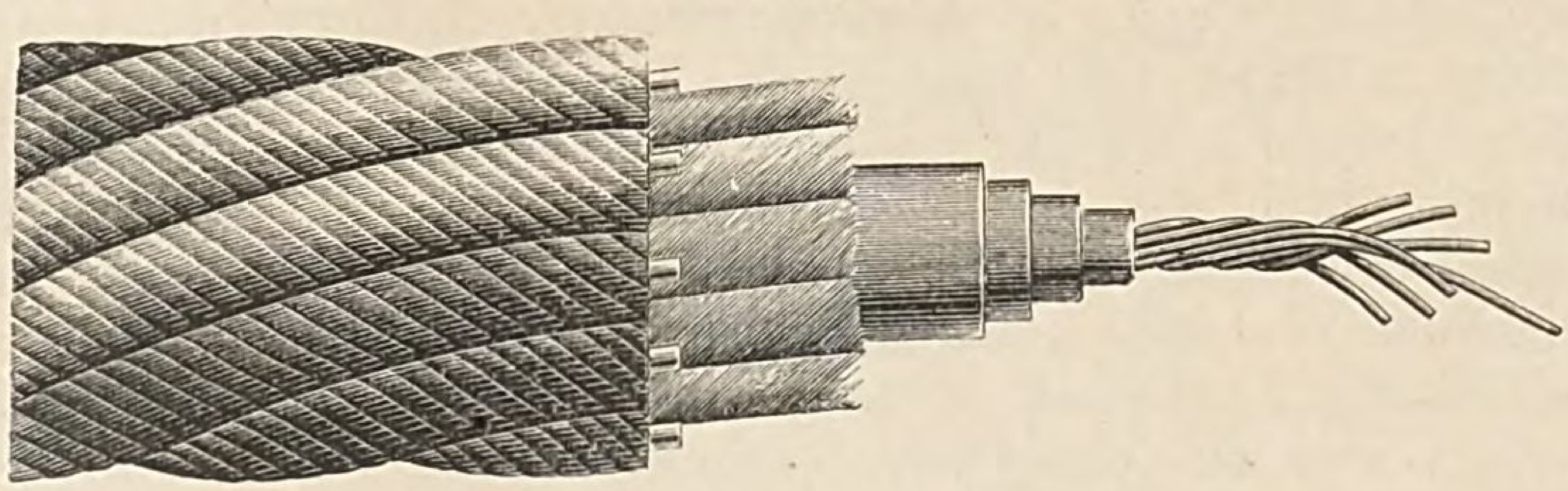
Fig. 364.



Man verwendet für die Kabel nur Kupferdrähte, und benutzt statt eines dicken mehrere neben einander geschaltete dünne Drähte, wie Fig. 365 zeigt, welche die äussere Ansicht eines Kabels darstellt. Diese dünnen Kupferdrähte, gewöhnlich von je 0,7 Millimeter Durchmesser, werden zusammen in eine Guttaperchahülle eingepresst, was die Aufgabe eines besonderen Fabrikationszweiges ist. Es werden immer mehrere solche Guttaperchastränge in ein Kabel vereinigt. Diese Guttaperchaadern werden nun um einander gewunden, so dass etwa sechs im Kreise um eine siebente herumliegen. Diese Schicht nennt man dann die Kabelseele. Um die Seele wird eine doppelte Lage von getheertem Hanfgarn gelegt, und diese mit einer Hülle von verzinkten Eisendrähten umgeben. Das ganze Kabel wird dann asphaltirt und nochmals mit Hanfgarn umsponnen.

Während die ersten Telegraphenanlagen in Deutschland 1830 entstanden und vom Jahre 1843 ab sich die Telegraphie rasch verbreitete,

Fig. 365.



so dass in einigen Jahrzehnten sich ein Netz von Telegraphendrähten über alle Länder ausbreitete, ging der Gedanke, den 1843 Wheatstone zuerst gehabt zu haben scheint, unterseeische Telegraphenleitungen zu legen, erst sehr spät seiner Verwirklichung entgegen. Auf kurze Strecken allerdings legte man bald unterseeische Kabel, so schon 1852 zwischen England und Irland. Aber erst 1866 gelang nach vielen missglückten Versuchen die Legung eines Kabels zwischen Europa und Amerika durch den atlantischen Ocean. Schon im Jahre 1857 hatte man mit dem Versuche angefangen, Irland und Amerika durch ein Kabel zu verbinden. Am 6. August begann man das Kabel zu legen und schon am 11. August riss dasselbe, etwa 70 deutsche Meilen von der Küste. Das Jahr 1858

brachte schon neue Versuche unter Berücksichtigung der gewonnenen Erfahrungen, aber wieder riss das eine Kabel, während das andere nach kurzer Zeit zerstört wurde. Erst 1864 war wieder ein Kabel fertig von an 600 deutsche Meilen Länge, es wurde auch glücklich durch den Great-Eastern gelegt, zerriss aber bald wieder mitten im Meere, etwa 250 Meilen von Irland entfernt. Endlich im folgenden Jahre 1866 wurde ein neues Kabel gelegt, welches bis nun, trotz mancher Beschädigungen, ausgehalten hat. Zugleich wurde das Kabel vom Jahre 1865 durch den Great-Eastern wieder aufgefischt und ausgebessert, und so waren sofort zwei telegraphische Verbindungen zwischen Europa und Amerika hergestellt. In kurzer Folge wurden dann noch eine Reihe von Kabeln durch den Grossen Ocean und andere Meere gelegt und so alle Theile der civilisirten Welt mit einander verbunden.

Die Kabeltelegraphie hatte zuerst sehr unerwartete Schwierigkeiten zu überwinden, abgesehen von den Schwierigkeiten bei der Legung der Kabel. Es zeigte sich nämlich, dass ein solches Kabel, welches ja aus inneren Kupferdrähten und äusseren Eisendrähten und einer isolirenden Zwischenschicht besteht, als Condensator wirkt. Es sammelt sich also auf einem solchen Kabeldraht, der mit dem einen Pole einer Batterie verbunden ist, sehr viel Elektricität an, da ja die Capacität eines Condensators (in Folge der Anwesenheit der influenzirten Hülle) eine sehr grosse ist (s. S. 20). Man erhält daher einerseits Ladungserscheinungen und andererseits grosse Verzögerung des Stromes. Daraus ergeben sich nun sehr schwierige Verhältnisse für die Telegraphie. Denn wenn von der ersten Station aus ein Kabel geladen ist und dann die Batterie beim Telegraphiren von dem Kabel momentan entfernt wird, also das Kabel an der ersten Station mit der Erde in Verbindung gebracht wird, so fliesst die angesammelte Elektricität in entgegengesetzter Richtung durch die Apparate in die Erde. Es entsteht der sogenannte Entladungsstrom oder Rückstrom. Ist die zweite Station isolirt, so fliesst die ganze Elektricität durch die erste zur Erde ab. Es geht also durch die Apparate nach jedem Telegraphirstrom ein Strom in entgegengesetzter Richtung und dadurch kommen alle die Apparate in unbeabsichtigte und schädliche Thätigkeit. Man sucht diesen Rückstrom auf verschiedene Weise zu paralysiren. Durch Anwendung des polarisirten Relais (S. 398) und der polarisirten Farbschreiber (S. 400), die man in diesem Falle Switch nennt, wird die Wirkung des Entladungsstromes unschädlich gemacht, da ja bei diesen eben nur ein Strom in einer bestimmten Richtung die beabsichtigte Wirkung hervorbringt. Bei der Submarintelegraphie, die mit viel empfindlicheren Apparaten arbeitet, als es die Farbschreiber sind, hilft man sich zum Theil dadurch, dass man bei jeder Oeffnung des Telegraphirstromes einen entgegengesetzten Strom durch eine besondere Batterie in die Leitung sendet und dadurch den Rückstrom paralysirt. Bei grossen unterseeischen Entfernungen wendet man jetzt fast allgemein Condensatoren an, durch die derselbe Zweck erreicht wird. Man lässt nämlich an der Aufgabestation durch den Telegraphirstrom die eine Belegung eines

grossen Condensators laden, dessen andere Belegung mit dem Kabel verbunden ist. Dadurch wird die gleichnamige Elektricität in entsprechender Weise durch das Kabel gesendet. Beim Aufhören des Telegraphirstromes vereinigt sich die Entladungselektricität des Kabels mit der entgegengesetzten Elektricität der mit ihm verbundenen Condensatorbelegung, während von der anderen Belegung der Strom einfach zur Erde abfliesst.

Es erforderte also die submarine Telegraphie ganz neue Einrichtungen der Instrumente, Einrichtungen, die zum grossen Theil von Siemens ausgingen. Bei der transatlantischen Telegraphie wird übrigens, um mit den schwächsten Strömen arbeiten zu können, die Nadeltelegraphie angewendet. Die Ströme werden durch die Windungen eines sehr empfindlichen Multiplikators gesendet und die Ausschläge des Magneten durch ein Fernrohr beobachtet. Man benutzt fast ausschliesslich Spiegelgalvanometer von William Thomson und es werden entweder die Ausschläge nach der einen und nach der anderen Seite als die beiden Elementarzeichen benutzt, aus welchen das Alphabet zusammengesetzt wird, oder es werden blos Ausschläge nach der einen Seite, aber von verschiedener Grösse (15^{0} und 25^{0}) gebraucht und aus diesen das Alphabet gebildet. Auf Kabeln kann man aus den angegebenen Gründen gewöhnlich blos 12 Zeichen in der Minute telegraphiren, während der Morseapparat 100 Zeichen zu telegraphiren gestattet.

Die grosse Schnelligkeit, mit welcher man auf telegraphischem Wege Signale fortpflanzen und Bewegungen auslösen kann, hat zu einer grossen Reihe von Verwendungen der Telegraphen zu verschiedenen Zwecken geführt. Insbesondere hat der Eisenbahnbetrieb die Telegraphie zu den allerverschiedensten Leistungen benutzt, theilweise um Signale zu geben, theilweise aber auch um zur bestimmten Zeit selbstthätig gewisse Verrichtungen vornehmen zu lassen. Doch liegen diese unzähligen Anwendungen nicht im Rahmen dieses Werkes.

Die neuere Elektrotechnik, die hauptsächlich auf der Entwickelung der Dynamomaschine beruht, hat auf die Telegraphie noch nicht die Rückwirkung ausgeübt, welche man erwarten sollte. Es liegt der Gedanke nahe, auch bei allen telegraphischen Einrichtungen statt der Ströme von galvanischen Batterieen die Ströme von Dynamomaschinen zu benutzen, wobei selbstverständlich nur ein geringer Bruchtheil dieser Maschinenströme zur Verwendung zu kommen brauchte. Dadurch würde die kostspielige und schwierige Unterhaltung der vielen galvanischen Elemente fortfallen. Es wurden solche Versuche auf den ostindischen Telegraphenlinien, von Schwendler, ferner von der Western Union Telegraph Company in New-York gemacht und wie es scheint mit günstigem Erfolge, so dass zu erwarten steht, dass auch in dem Telegraphenbetriebe die Zukunft eine wesentliche Erleichterung durch die Dynamomaschinen bringen wird.

Register.

Abdrücke, galvanische 363.
Ableitung zur Erde 4.
Absolute Masse 196 ff.
Ader, Mikrophon 374.
— Telephon 369.
Aichung von Galvanometern 148. 157. 158.
Akkumulatoren 269 ff.
Akkumulator von Böttcher 279.
— von Faure 276 ff.
— von Kabath 278.
— von Planté 271 ff. 277.
— von Schulze 278.
Alliance-Maschine 215.
Alphabet, Morse'sches 399.
Ammeter 157.
Ampère 136. 140. 144. 161 f. 171 f.
— (Einheit) 88. 123 f. 141. 202 f. 206 f.
— sches Gesetz 167.
— Gestell 144. 162.
— Schwimmerregel 136. 140.
— Theorie des Magnetismus 171 f.
Anker 135.
Ansammlungsapparat 20.
Anziehung und Abstossung, elektrische 3 f.
— — magnetische 134 f.
— — elektrodynamische 161 f.
Aperiodische Galvanometer 152.
Arago'sche Scheibe 188.
Arbeit 10 f. 33 f. 101 f. 199.
Arbeitsleistung durch Dynamomaschinen 338 ff.
Arbeitsstrom 400.
Astatischer Stromkreis 162.
Aufzug, elektrischer 349 ff.
Ayrton und Perry, Ammeter 157.
— — Telpherage 351.

Bäder, galvanoplastische 356 f.
Bec Carcel 289.
Belegung von Condensatoren 22.
Bell, Graham 187. 366 ff.
Berliner, Mikrophon 378.
Bernstein, Glühlampe 334.
Blake, Mikrophon 377.
Bleieinschaltung 332.
Böttcher, Akkumulator 279.
Bogenlicht, elektrisches 111. 283 ff.
Bosscha 95.
Bostonlampe 334.
Boudet, Mikrophon 376.
Brücke, Wheatstone'sche 63 f. 77 ff. 82. 94. 131.
Brush, Lampe 295 f. 309 f.
— Maschine 246 ff.
Bürgin, Lampe 294 ff.
— Maschine 252 ff.
Büschellicht 29.
Bunsen'sches Element 47.
— Photometer 288.

Capacität eines Condensators 20 f. 34. 158 f. 203 f.
— eines Leiters 14. 20. 34. 203 f.
— eines sekundären Elementes 272.
Carcel 289.
Caselli, Pantelegraph 408 f.
Centralbureau für Telephonie 385 f.
Centralstationen für Glühlichtbeleuchtung 329 ff.
Chemische Theorie des Stromes 126.
Clausius'sche Theorie der Elektrolyse 118.
Cliché's, galvanische 363 f.
Coercitivkraft 138. 232.
Collektorplatte eines Condensators 20.
Collektor von Dynamomaschinen 232. 259.
Commutatoren 90 ff. 186. 274.
Compensationsmethode 87. 96.

Compoundschaltung 240. 266. 333. 353.
Condensator 20. 412.
— Platte 20.
Conduktoren 4.
Contakttheorie 126.
Contaktwagen 345 f.
Copirtelegraphen 408.
Coulomb (Einheit) 9. 202.
Coulomb'sches Gesetz 8.
Crossley, Mikrophon 375.
Cylinderinduktor von Siemens 217.

Dämpfung von Magnetnadeln 152. 188.
Daniell'sches Element 45 f.
Davy 111. 284.
Decapiren 356.
Deprez, Galvanometer 156.
— Kraftübertragung 342 f.
— Vertheilung der Kraft 352.
Dichtigkeit der Elektricität 14.
Dielektrikum 21. 24.
Differentiallampe von Hefner-Alteneck 306 ff.
Differentialschaltung 306.
Dolbear, Telephon 386 f.
Doppel-T-Anker 217.
Dosenrelais 399.
Dubois'scher Schlüssel 89.
Dynamomaschinen 211—268.
Dynamoprincip 234.

Edelmann, Galvanometer 158.
Edison 256 f. 319 ff. 387 f.
— Lampe 320 ff.
— Maschine 256 f.
— Elektromotorograph 387 f.
Edlund 113.
Effekt, elektrischer 101 f. 206. 264.
Einheit der Arbeit 34. 101. 199.
— der Beschleunigung 198.
— der Capacität 34. 203. 204.
— des Effekts 101. 199 f.
— der Elektricitätsmenge 8. 202. 203.
— der elektromotorischen Kraft 188. 202.
— der Fläche 197.
— der Geschwindigkeit 198.
— der Kraft 8. 198 f.
— der Länge 197.
— des Magnetismus 200.
— der Masse 197.
— des Potentials 34. 202. 204.
— der Stromstärke 88. 141. 201. 204.
— des Widerstandes 89. 203. 204.
— der Zeit 197.
Eisenbahn, elektrische 344 ff.
Elektricitätsmenge 7.
Elektrisirmaschine 9.
Elektroden 31. 114.
Elektrodynamometer von Weber 166.
— von Siemens für schwache Ströme 168 f.
— — für starke Ströme 170.
Elektrodynamik 161 ff.
Elektrodynamische Kraft 167 f.
Elektrolyse 114 ff.
Elektrolyte 114.
Elektromagnete 136.
Elektromagnetismus 131 ff.
Elektromagnetisches Masssystem 201 ff.
Elektromotorische Kraft 44.
— — von Dynamomaschinen 237. 262 ff.
— — von Elementen 85 ff.
— — von inducirten Strömen 192.
— — im Flammenbogen 113.
Elektromotorograph von Edison 387 f.
Elektroskop 5.
Elektrostatisches Masssystem 203 f.
Elementarströme 140.
Elemente, galvanische 44 ff.
Energie 33. 101. 211 f. 268.
Entladung, disruptive 28.
Entladungsstrom 159. 412.
Erdleitung 380. 392.
Erdmagnetismus 140.
Erregerplatte von Ader 370.
Erwärmung durch den Strom 29. 97 ff.
— durch Foucault'sche Ströme 260. 341.
— durch Ummagnetisiren 138 f.
Evakuation 320.
Extrastrom 191.

Farad 34. 160. 203. 206.
Faraday 13. 21. 114. 120 f. 175 f.
Faraday's Gesetz der Elektrolyse 120 ff.
Farbschreiber 400 f.
— der deutschen Telegraphie 401.
— polarisirter 400. 412.
Faure-Element 276 f.
Fein, Maschine 250.
Ferranti-Thomson, Maschine 225.
Flachringmaschine 252.
Fläche gleichen Potentials 12.
Flammenbogen 111 f. 147. 284 ff.
Foucault'sche Ströme 189. 260. 341.
Fröhlich, Versuche über Dynamomaschinen 263 f. 340.
Funke, elektrischer 27.
Funkenentladung 28.

Galvani 35.
Galvanometer 69 f. 149 ff.
— aperiodische 152.
— in Zweigleitung 153 f.
— von Ayrton und Perry 157.
— von Deprez 156 f.
— von Edelmann 157.
— von Siemens 152 f.
— von Wiedemann 151.
Galvanoplastik 355 ff.
Galvanoskope 68.
Gaselemente 48.
Gauss 390. 392.
Geissler'sche Röhren 194.

Gekreuzte Ströme 164.
Gesetz, Ampère'sches 167.
— Coulomb'sches 8.
— der Spannungsreihe 38.
— elektrolytisches 114 ff.
— Joule'sches 100 f.
— Lenz'sches 181 f.
— Ohm'sches 54.
— von Biot und Savart 140.
Gleichgewicht der Elektricität 12.
Glimmlicht 28.
Glühlampe von Bernstein 334.
— von Edison 320 ff.
— von Lane Fox 322 f.
— von Maxim 323 f.
— von Müller 324.
— von Swan 322.
Glühlicht 100. 319 ff.
Goldblattelektroskop 5 f.
Gordon, Maschine 223.
Gower, Mikrophon 375 f.
— Telephon 370.
Gramme 222. 228. 231. 234.
— Maschine 231 ff. 234.
— — für Wechselströme 222.
Gramme'scher Ring 228 f.
Graviren von Metallen 364.
Grotthus'sche Theorie 117.
Gülcher, Lampe 313 f.
— Maschine 254 ff.
Güteverhältniss von Dynamomaschinen 267.
Gyrotrope 90.

Hefner-Alteneck 241. 289. 293. 305. 315.
— — Differentiallampe 305 ff.
— — Lampe 293 f.
— — Lichteinheit 289.
— — Trommelinduktor 241 ff.
Heliogravure 363.
Helligkeit des elektrischen Lichts 290 f.
Hintereinanderschaltung von Elementen 56.
— von Leitern 62.
Holtz, Influenzmaschine 25 ff.
Hughes 371 f. 374 f. 388. 406.
— Induktionswage 388.
— Mikrophon 371 f. 374 f.
— Typendrucktelegraph 406 ff.

Inconstante Elemente 87.
Indifferenzstellen im Gramme'schen Ring 229 f. 232.
Induktion 175 ff.
— magnetische 134.
Induktionsapparate 189 f.
Induktionsspirale 177.
Induktionsströme 177.
Induktionswage von Hughes 388.
Induktor 213. 216 f. 218. 222. 223. 227 ff. 241 ff. 246 f.
Influenz 16 ff.
— magnetische 134.
Influenzmaschine 25 ff.
Intensität 48 ff.
Isolatoren 4. 16. 21. 25. 410.

Jablochkoff, Kerze 299 ff.
Jacobi 355.
Jamin 147. 302 f.
— Kerze 302 f.
Jaspar, Lampe 297 f.
Jenkin, Telpherage 351.
Joule'sches Gesetz 100 ff. 320.
Joule'sche Wärme 100.
Jürgensen, Maschine 251.

Kabath, Akkumulator 278.
Kabel 411.
Kabeltelegraphie 411 ff.
Kerze, Jablochkoff'sche 299 ff.
— Jamin'sche 302 f.
Kerzennormalbrenner 289.
Kirchhoff's Gesetze 66. 93.
Klangfarbe 368.
Klemmspannung 264 ff. 325. 353.
Klemmung, magnetische 298. 313.
Klingel, elektrische 382.
Knallgasvoltameter 122 f.
Kohlrausch 37.
Kraftübertragung, elektrische 335 ff.
Krizik, Lampe 310 f.
Krizik'sche Stäbe 310.
Kupfervoltameter 124.

Ladungserscheinungen 412.
Läufer (beim Typendruckapparat) 407 f.
Laffert, Mikrophon 378.
Lampen, elektrische 292 ff.
Lampe von Brush 295 f. 309 f.
— von Bürgin 294 f.
— von Edison 321 ff.
— von Gülcher 313 f.
— von Hefner-Alteneck 293 f.
— von Jaspar 297.
— von Krizik 310 f.
— von Sedlaczek 296.
— von Siemens 298. 305 ff.
— Soleil 303.
Lane Fox, Lampe 322.
Leclanché-Element 48.
Leiter 4. 17. 40.
Leitung, telegraphische 410 f.
Leitungsfähigkeit, Aenderung mit der Temperatur 72.
— von Flüssigkeiten 71.
— von Metallen 71.
— specifische 71.
Lenz'sches Gesetz 181 f.
Leydener Batterie 22.
— Flasche 21.
Linienbatterie 397.

Lichteinheit 289 f.
Lichtstärke 290.
Lokalbatterie 397.
Lokomotivlampe 296.
Lontin, Maschine 221 f.
Luftballon 281.

Magnete 133 f.
Magnetelektrische Maschine 182 ff. 214 f. 237.
Magnetisirungsspirale 136.
Magnetoinduktion 180 f. 212.
Maschine, Alliance 215 f.
— von Brush 246 ff.
— von Bürgin 252 ff.
— von Edison 256 ff.
— von Fein 250 f.
— von Ferranti-Thomson 225 f.
— von Gordon 223.
— von Gramme für gleichgerichtete Ströme 234 f. 248.
— — für Wechselströme 222 f.
— von Gülcher 254 f.
— von Jürgensen 251.
— von Lontin 221 f.
— von Méritens 218 f.
— von Pixii 214.
— von Schuckert 251 f.
— von Siemens für Galvanoplastik 359.
— — für gleichger. Ströme 244 f. 263.
— — für Wechselströme 223 ff.
— von Stöhrer 183. 185. 214.
— von Weston 260 f.
— von Wilde 219 f.
Matthiessen 71.
Maxim, Lampe 323.
Meidinger-Element 46.
Méritens, Maschine 218 f.
Messapparat für verbrauchte Elektricität von Edison 332.
Messung der Capacität 158 ff.
— der Elektricitätsmenge 30 f.
— der elektromotorischen Kraft 85 ff. 96.
— der Klemmspannung 154. 264.
— der Lichtstärke 287.
— der Stromstärke 67 f. 123—125. 148 bis 158. 168—171.
— des Potentials 33.
— der Potentialdifferenz 154.
— des Widerstandes 76—85. 94 f. 131 f.
Metallisiren 362.
Mikrofarad 34.
Mikrophon 371 ff.
— von Ader 374.
— von Berliner 378.
— von Blake 377.
— von Boudet 376.
— von Crossley 375.
— von Gower 375 f.
— von Hughes 371. 374 f.
— von Laffert 378.
Molekularströme 171.
Morse, Schreibtelegraph 394 ff.
Morseschlüssel 393 f.
Müller, Glühlampe 324.
Multiplikator 30. 70. 149 f.

Nadeltelegraphie 391. 413.
Nebeneinanderschaltung 58. 62.
Nebenlampe von Siemens 298.
Neef'scher Hammer 178.
Niveaufläche 12.
Normalkerze 289.
Nutzeffekt von Akkumulatoren 277 f.
— bei der Kraftübertragung 340 ff.

Obertöne 368.
Oeffnungsstrom 177.
Oerstedt 139.
Ohm (Einheit) 89. 203. 207 f.
Ohm'sches Gesetz 54. 92.

Pacinotti'scher Ring 228 ff.
Pantelegraph von Caselli 408 f.
Papierträger 395.
Parallele Ströme 162.
Peltier'sche Wärme 103 f.
— Wirkung 103.
Photometer 288.
Pferdekraft 102.
Pixii, Maschine von 214.
Planté 271 ff. 277.
Planté'sches Element 271 ff.
Pohl'scher Gyrotrop 90.
Polarisation, dielektrische 24.
— chemische 127 ff. 269 f. 360. 365.
Polarisationsbatterie 131. 273.
Polarisationsstrom 127. 269.
Polarisirter Farbschreiber 400. 412.
Polarisirtes Relais 398. 412.
Postbahn, elektrische 348.
Potential 11. 19. 33 34. 36. 40 ff.
Potentialdifferenz 36 ff. 44. 154.

Quadrantelektrometer 31 f.

Reduktionsfaktor 148.
Regulirung des Lichtbogens 292 ff.
— im Nebenschluss 304.
— der Lichtstärke von Edisonlampen 326 ff.
— bei der Kraftvertheilung 352 f.
Reiberschiene 408.
Reibungselektricität 1 ff.
Reinmetallgewinnung 364 f.
Relais 396 f.
— polarisirtes 398.
Reochord 75.
Rheostat 74 f.
Richtung des Stromes 49 ff.
Riess 23. 29.
Ring von Pacinotti oder Gramme 228 ff.

Rotation von Magneten um Ströme 142. 236.
— von Strömen um Magnete 146. 236.
— von Strömen, elektrodynamische 166.
Rühmkorff'scher Gyrotrop 91.
Rühmkorff, Induktionsapparat 189.
Rückstrom 412.
Ruhestrom 400.

Saugwirkung der Spitzen 23.
Schaltung auf Quantität oder Spannung 58. 92 f.
— der Bostonlampen 384.
— der Gülcherlampen 313.
— der Edisonlampen 324 ff.
— gemischte 240. 266.
— von Dynamomaschinen 239 f. 265 f.
— von Telephon, Mikrophon und Glocke 383 ff.
Schaltungslehre, telegraphische 410.
Scheidungskraft, elektrische 36.
Schichtungen in Geissler'schen Röhren 194.
Schleiffedern 184.
Schreibtelegraphen 391. 394 ff.
Schreibtelegraph von Morse 394 f.
Schuckert, Maschine 251 f.
Schulze, Akkumulator 278.
Schwimmerregel, Ampère'sche 136. 140.
Sedlaczek, Lokomotivlampe 296.
Seele (eines Kabels) 411.
Sekundäre Elemente 131. 269 ff.
— Maschine 337.
— Processe 115.
Selbstauslösung 403.
Siemens (Siemens & Halske) 69. 73. 75. 79. 81. 88. 149. 151 f. 154. 168. 170. 217. 223. 244. 263. 293. 298. 306. 344. 349. 359. 369. 381. 398. 400. 412.
— aperiodisches Galvanometer 152 f.
— Differenziallampe 306 ff.
— elektrischer Aufzug 349 f.
— elektrische Eisenbahn 344 ff.
— Elektrodynamometer 168 f. 170.
— Glockenmagnet 151.
— Maschine für Galvanoplastik 359.
— — für gleichgerichtete Ströme 244 f. 263.
— — für Wechselströme 223 ff.
— Induktor 217.
— Lampe 293 f.
— Nebenlampe 298.
— polarisirter Farbschreiber 400. 412.
— polarisirtes Relais 398. 412.
— Ruftrompete 381.
— Telephon 369.
— Torsionsgalvanometer 154 ff.
— Universalgalvanometer 69. 81. 88. 149.
— Widerstandskasten 75. 79 f.
Siemens-Einheit 73.
Silbervoltameter 124 f.
Sinusbussole 150.
Solenoid 141 ff. 297.
Spannungserscheinungen 193.
Spannungsreihe 37 f. 39 f.
— thermoelektrische 104 f. 106.
Specifische Leitungsfähigkeit 71.
Specifischer Widerstand 70.
Spiegelgalvanometer 151 ff.
Spitzen 15. 23.
Sprung des Potentials 59.
Stärke des Stromes 52 ff. 67 ff. 123 f. 148 f. 168 f.
Steinheil 380. 392.
Stiftscheibe 407.
Stiftschreiber 394. 400.
Stöhrer, Maschinen 183. 185. 214.
— Quadrantelektrometer von 32.
Stöpselrheostat 75. 79.
Strom, elektrischer 49.
Strombrecher 360.
Stromkreis 52.
— astatischer 162.
Stromintensität 52 ff. 67 ff. 123 ff. 148 f. 168 f.
Stromsammler 232.
Stromverzweigung 61 ff. 94.
Substitutionsmethode 77.
Swanlampe 322.
Switch 412.
Synchronismus 406. 409.

Tangentenbussole 50. 67. 148 f.
Taster 393.
Telegraphie 390 ff.
Telephon 131. 187. 366 ff.
— von Ader 369 f.
— von Bell 187. 367 f.
— von Dolbear 386 f.
— von Gower 370.
— von Siemens 369.
Telpherage 351.
Theilung des elektrischen Lichts 299. 304 f.
Thermoelektrische Nadel 110.
— Spannungsreihe 104. 106.
Thermoelement 106.
Thermosäule 108.
Thermoströme 105 f.
Theorie der Dynamomaschinen 236—241. 262—267.
Theorie der Elektrolyse 117 ff.
— des Stromes 51 ff.
— der Kraftübertragung 338 ff.
— des Magnetismus von Ampère 171 f.
Thomson, Sir W. 31.
— -Ferranti, Maschine 225 f.
Tissandier 281.
Tonempfänger 372.
Tonhöhe 367.
Tonsender 372.
Tonstärke 367.

Torsionsgalvanometer 154 ff.
Tragkraft der Magnete 135.
Transmitter siehe Mikrophon.
Trommelinduktor 191 ff.
Typendrucktelegraphen 391. 406 ff.
Typendrucktelegraph von Hughes 406 ff.
Typenrad 407.

Umschalter 317.
Umwandlungsverhältniss 267.
Universalgalvanometer 69. 81. 88. 149.
— Benützung zur Messung von Widerständen 80 ff.
— — — von elektromotorischen Kräften 88.
— — — von Stromstärken 149.
Universalwiderstandskasten 79 f.

Vergoldung 358.
— grüne 358.
— rothe 358.
Verkupferung 357 f.
Vermittelungsamt für Telephonie 385 f.
Vernickelung 358.
Verstärkungszahl 20.
Versilberung 356.
Vertheilung der Elektricität 7.
— der Kraft 352 ff.
Verzögerung des Stroms bei der Kabeltelegraphie 412.
Verzweigte Leitung 61. 94.
Volt (Einheit) 34. 88. 202.
Volta 35.
Volta'scher Fundamentalversuch 35.
Voltameter 123 ff.

Waltenhofen 95.
Weber, W. 167. 392.
Wechselströme 131 f. 168 f. 183. 214 ff.
Wechselstrommaschine von Ferranti-Thomson 225 f.
— von Gordon 223.
— von Gramme 222.
— von Lontin 221.
— von Siemens 223 f.
Weston, Maschine 260 f.
Wheatstone 64. 396.
Wheatstone'sche Brücke 64. 77—82. 94.
Widerstand 7. 54 f.
Widerstand, ausserwesentlicher 249.
— innerer von Elementen 56. 82 ff. 95.
— specifischer 70.
— wesentlicher 249.
Widerstandskasten, Siemens'scher 75. 79.
Wiedemann, Spiegelgalvanometer 151.
Wilde, Maschine 219 f.
Wind, elektrischer 28.
Wippe 159.

Zeigertelegraphen 391.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Graetz, Leo,

Die Elektricität und ihre Anwendungen zur Beleuchtung, Kraftübertragung, Metallurgie, Telephonie und Telegraphie für weitere Kreise dargestellt

Stuttgart 1885

BHS II H 158
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11558415-5